



Dansk transport uden kul og olie - hvordan?

Et oplæg til debat om hvordan dansk transport bliver uafhængig af fossile brændsler inden 2050

Christensen, Jakob ; Homann Jespersen, Per ; Karlsson, Kenneth Bernard; Kaspersen, Per Skougaard; Klüver, Lars ; Krawack, Susanne ; Leisner, Ida

Publication date:
2012

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Christensen, J., Homann Jespersen, P., Karlsson, K. B., Kaspersen, P. S., Klüver, L., Krawack, S., & Leisner, I. (2012). *Dansk transport uden kul og olie - hvordan? Et oplæg til debat om hvordan dansk transport bliver uafhængig af fossile brændsler inden 2050*. Teknologirådet. Teknologirådets Rapporter No. 2012/1 <http://www.tekno.dk>

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Dansk transport uden kul og olie - hvordan?

Et oplæg til debat om hvordan dansk transport
bliver uafhængigt af fossile brændsler inden 2050

Dansk transport uden kul og olie - hvordan?

Et oplæg til debat om hvordan dansk transport
bliver uafhængig af fossile brændsler inden 2050

Dansk transport uden kul og olie – hvordan?

Et oplæg til debat om hvordan dansk transport bliver uafhængig af fossil brændsler inden 2050

Projektledelse i Teknologirådets sekretariat

Ida Leisner

Projektmedarbejder

Naja E. Asbjørn Olesen

Projektsekretær

Eva Glejtrup

Omslag og tryk

Kailow Graphic A/S

Forfattere af rapporten

Jakob Christensen

Per Homann Jespersen

Kenneth Karlsson

Per Skougaard Kaspersen

Lars Klüver

Susanne Krawack

Ida Leisner

Rapporten bestilles hos

Teknologirådet

Toldbodgade 12

1253 København K

Telefon 33 32 0503

tekno@tekno.dk

Rapporten kan også downloades på

Teknologirådets hjemmeside www.tekno.dk

Teknologirådets rapporter 2012/1

ISBN: 87-91614-61-9

Forord

Teknologirådet iværksatte i 2010 et projekt om bæredygtig transport i Danmark. Projektets formål var at undersøge, hvad det vil kræve at omstille danskernes transport til anvendelse af vedvarende energi, samt hvilke konsekvenser det har for transportsammensætning, danskernes mobilitet, energiomkostninger og infrastrukturinvesteringer. Projektet har taget afsæt i de beregninger af scenarier for et fremtidigt energisystem baseret på vedvarende energi, som er udarbejdet af Klimakommissionen.

Teknologirådet har tidligere gennemført et projekt om fremtidens energisystem. Her blev der beregnet fire forskellige scenarier og et kombinationsscenarie med et samlet bud på, hvordan forbrug af fossile brændsler og CO₂ udslip kunne reduceres med 50 % inden 2025. Transporten var i scenarierne alene repræsenteret ved sit energiforbrug. Hvordan trafikarbejde og transportarbejde kunne ændres, og dermed påvirke energiforbruget, indgik ikke. Da Klimakommissionen i 2010 offentliggjorde sin rapport om, hvordan Danmark kan nå sine mål for reduktion af CO₂-udledning i 2050, var transportsektoren behandlet på samme måde, alene ud fra sit energiforbrug. Derfor opstod ideen om at belyse transportområdet i et VE-perspektiv.

Denne rapport giver et bud på, hvordan et transportsystem i 2050, drevet 100 % af VE, kan se ud. Der er beregnet et fossilfrit scenarie, som viser dette, samt et reference- og et teknologiscenarie.

Projektet er gennemført i samarbejde med en ekstern styregruppe med deltagelse af eksperter og aktører indenfor transportområdet. Styregruppen har bistået Teknologirådet med at:

- fastlægge mål for projektet
- samle og bearbejde viden
- sammenfatte og formidle resultater

Scenarierne er beregnet af Per Kaspersen med teknisk bistand fra Brian Vad Mathiesen og Kenneth Karlsson. En scenariegruppe med deltagelse af Susanne Krawack, Per Homann Jespersen, Brian Vad Mathiesen, Kenneth Karlsson, Lars Klüver og Jacob Christensen har undervejs givet indspil til beregningsarbejdet og rapporten. Ida Leisner har været projektleder og tovholder på skrivning af rapporten. Naja E.A. Olesen har været projektmedarbejder på projektet.

Styregruppens medlemmer:

Torben Lund Kudsk, chefkonsulent, FDM

Susanne Krawack, direktør, Trekantområdet

Per Homann Jespersen, lektor, RUC

Per Henriksen, chefkonsulent, DI Transport

Lise Bjørg Petersen, politisk medarbejder, Forbrugerrådet

Lisbeth Hagelund Hansen, konsulent, Dansk Transport og Logistik

Kenneth Karlsson, Seniorforsker, Institut for Systemer, Produktion og Ledelse, DTU

Per Skougaard Kaspersen, Vidensk. assistent, Institut for Systemer, Produktion og Ledelse, DTU

Jan Bigom, chefkonsulent, Arriva Danmark

Jakob Christensen, gruppeleder, COWI

Henrik Sylvan, partner, Transport Data Lab
Brian Vad Mathiesen, lektor, Aalborg Universitet
Lars Klüver, sekretariatschef, Teknologirådet

Styregruppen har været sammensat, så den repræsenterer mange forskellige dele af transportsektoren og forskellige syn på de fremtidige udfordringer. I dette projekt gennemført i Teknologirådets regi, har alle arbejdet sammen om at finde ud af, hvordan målsætningen om en fossilfri transportsektor i 2050 kunne opfyldes med udgangspunkt i at opnå så høj mobilitet for personer og gods som muligt.

Hovedintentionen med projektet har været at få koblet de klima- og energipolitiske diskussioner og målsætninger sammen med transportpolitikken. Der er stadig udestående spørgsmål, men det er lykkedes at knytte transportsektoren og energisektoren sammen i en fælles model, der giver en sammenhængende forklaring på transportens og energisystemets udfordringer. Det gælder for eksempel transportsystemets sammensætning, så VE-baseret eldrift udnyttes optimalt, og så geografiske forskelle adresseres i valget af sammensætning af transportmidler.

Hovedresultatet er, at det er muligt at sikre en fossilfri transportsektor uden omkostninger af betydning. Der er snarere mulighed for besparelser. Resultatet viser imidlertid også, at det ikke er muligt at sikre en fossilfri transportsektor alene med teknologiske forbedringer og nye drivmidler, hvis de nuværende trends i transportsektoren fortsætter. Det har været nødvendigt at begrænse væksten i transportomfanget og øge effektiviteten for at nå målet om at gøre transportsystemet fossilfrit i 2050.

Analysen viser én kombination af virkemidler, der fører frem til det ønskede mål. Der kan gennemføres andre kombinationer af teknologier og adfærdsregulerende virkemidler, der på andre måder når frem til målet. Én ting er sikkert: Det er nødvendigt, allerede nu, målrettet at arbejde for en omlægning af transportsektoren, fordi en udvikling mod en fossilfri transportsektor ikke kommer af sig selv, og tager lang tid. Der skal skabes de rette rammebetingelser for at sikre den optimale effektivisering og introduktion af de bedste teknologier. Desuden skal der skabes en klar incitamentsstruktur for at øge transportsektorens kapacitetsudnyttelse. Der skal derfor flere personer og mere gods i hvert transportmiddel. Endelig skal der etableres klare incitamenter for at få folk til at vælge de mindst energiforbrugende transportmidler. Og her bliver det nødvendigt med bedre sammenhæng i den kollektive trafik kombineret med økonomiske virkemidler, der gør de energiøkonomiske løsninger til de billigste.

Styregruppen betragter rapportens scenarier som et oplæg til debat om, hvordan også transportsektoren kan komme til at bidrage til at reducere CO₂ udslippet. Der er etableret en model, som kan anvendes til at gennemregne andre scenarier for transportens effekter på klima, energiforbrug, mobilitet og økonomi. Der kan justeres på forudsætningerne og aflæses, hvad det betyder for transportsektorens energiforbrug og CO₂ belastning. Styregruppen vil opfordre til, at det arbejde der er gennemført nu, bliver videreført ved, at andre scenarier gennemregnes, og at der foretages en yderligere vurdering af forudsætningerne.

Det er styregruppens ønske at åbne debatten med de scenarier, der er beskrevet i rapporten. Den præcise udformning af scenarierne er ikke det vigtigste, og styregruppen mener ikke, at det beskrevne fossilfri scenarie er den eneste løsning på transportsektorens udfordring. Det kunne således være en mulighed at øge andelen af transportarbejdet med eldrevne personbiler fra 2040, hvis man valgte at investere mere i udbygning af vindmølleparker i de næste årtier. Der er i styregruppen mange forskellige holdninger til, hvilke virkemidler, der skal anvendes, men det har været intentionen at få et sammenhængende billede

frem af én måde, transportsektoren kunne fungere i 2050 uden anvendelse af fossil energi. Styregruppen håber derfor, at rapporten læses på den måde, og at den dermed kan være grundlaget for en god debat om, hvordan transportsektoren skal omlægges, så der arbejdes målrettet mod en fossilfri transportsektor. Det er ikke slutresultatet, der er vigtigst. Det vigtigste er, at der allerede nu træffes beslutninger om indretningen af fremtidens transportsystem.

Teknologirådet vil gerne takke den eksterne styregruppe og scenariegruppen for deres bidrag til projektet.

Teknologirådet, februar 2012

Bilagsrapport

I bilagsrapporten til denne rapport findes en række bilag, som dokumenterer og uddyber de resultater, som fremgår af hovedrapporten. Der er bilag om de virkemidler, der er anvendt til at beregne det fossilfri scenarie, dokumentation af data til referencescenariet og teknologiscenariet, samt supplerende tabeller og figurer om transportsystemet, flere figurer om energiforbrug og CO₂ udslip og supplerende oplysninger om energiøkonomien.

Det er ikke nødvendigt at læse bilagsrapporten for at forstå hovedrapporten. Bilagene er alene tænkt som information til dem, der er særligt interesserede i at se beregningerne nærmere efter i sømmene. Selve modelværktøjet vil være tilgængeligt fra www.tekno.dk.

Indholdsfortegnelse

Forord	3
Resumé	7
1. Scenariernes energiforbrug og CO2-udledning	15
1.1 Energiforbruget	15
1.2 CO2-udledning	17
2. Sammenligning af de tre scenarier - udvalgte transportmidler	19
2.1. Persontransport	19
2.2 Godstransport	23
2.3 Belægningsgrader	26
3. Scenariernes tilblivelse	27
3.1 Formål og fremgangsmåde:	27
3.2 Virkemidler anvendt i det fossile frie scenarie	29
3.3 Målsætninger	34
3.4 Afgrænsning af det danske transportsystem	35
3.5 Rammebetingelser	35
3.6 Modelværktøjet	36
4. De tre scenarier	38
4.1 Reference scenarie	38
4.2 Teknologiscenarie	41
4.3 Fossile frie scenarie	44
4.4 Sammenfatning af resultater - transport og trafikarbejde	48
4.5 Sammenfatning af resultater for energiforbrug og CO2-udledning	51
4.6 Persontransport fordelt på turlængde – det fossile frie scenarie	51
4.7 Geografisk varieret sammensætning af persontransportarbejdet	53
5. Samfundsøkonomiske omkostninger – investeringer i energiforsyning, transporttjenester og transportinfrastruktur	59
5.1 Scenariernes samfundsøkonomiske omkostninger	59
5.2 Omkostninger til udbygning af kollektiv trafik i det fossile frie scenarie	65
Figurer og tabeller	67
Litteraturliste	69
Teknologirådets udgivelser 2006 – 2011	71

Resumé

Baggrund

Et effektivt transportsystem spiller en nøglerolle for økonomisk vækst og velfærd. Den omvendte relation er også gældende. Globalisering og øget velstand har således de seneste årtier bidraget til en vækst i det transportarbejde, som dækker danskernes behov. Det historiske billede har været fortsat vækst, men de seneste 10 år, og især de sidste 2-3 år, er den internationale del af godstransportarbejdet, som følge af finanskrisen, dog faldet lidt¹, mens persontransportarbejdet er steget med cirka 1 % om året.

Transport er i dag helt afhængig af olie, og står, i dansk sammenhæng, for omkring 25 % af energiforbruget.

For at opretholde danskernes mobilitet på længere sigt kan det blive nødvendigt at gøre danskernes transport uafhængig af olie inden for få årtier.

Klimakommissionen offentliggjorde i september 2010 en rapport om, hvordan det danske energisystem kan gøres uafhængig af fossile brændsler. Kommissionen peger på tre forhold, som gør fossil uafhængighed helt nødvendig:

- **Forsyningssikkerhed og sikkerhedspolitik.** Danmark og EU bliver nettoimportører af fossile brændsler og sårbar overfor skiftende og høje energipriser. Fremtidens reserver af olie og gas findes primært i lande, som historisk set har anvendt deres dominans i markedet til at kontrollere produktionens størrelse og pris.
- **Påviste reserver er begrænsede.** Ifølge BP Statistical Review of World Energy 2009 vil der være olie til 42 års forbrug, gas til 60 år og kul til 122 år med det nuværende forbrug. Der er dog stor usikkerhed om energireserverne, og de asiatiske vækstøkonomier vil øge forbruget.
- **Klimaet.** Det er fastslået videnskabeligt, at CO₂ udslip bidrager væsentligt til klimaforandringer. Der er fastsat europæiske mål for reduktion på 80-95 % af CO₂ udslippet i forhold til 1990, heraf 20-30 % i år 2020. Der er ikke fastsat specifikke reduktionsmål for transportsektoren.

Kort sagt tilsiger både miljø, pris og leveringssikkerhed en omlægning af energigrundlaget for transporten.

Klimakommissionen regnede på mulighederne for at gøre det samlede energisystem uafhængig af fossile brændsler, herunder nogle overordnede beregninger for en omstilling af transportsektorens energiforbrug. Men kommissionen har kun i mindre grad beskæftiget sig med, hvordan transportsystemet, under de nye vilkår, ville skulle se ud. Tidligere beregninger, blandt andet Ingeniørforeningens og Teknologirådets egne beregninger, har heller ikke, hvad angår transporten, været tilstrækkeligt detaljerede til at kunne danne grundlag for en debat om fremtidens VE-drevne transportsystem.

Teknologirådet har derfor set et behov for at undersøge, hvad det vil kræve at omstille danskernes transport til vedvarende energi i 2050, og hvilke konsekvenser det har for transportsammensætning, danskeres mobilitet, energiomkostninger og infrastrukturinvesteringer. Formålet med projektet er at lægge op

¹ For lastbil, nationalt og internationalt, er transportarbejdet er faldet med 0,2 % fra 1998-2007 og med 2,7 % fra 1998-2010 iflg. Danmarks Statistiks Statistikbank.

til en debat om de valg, der skal træffes for at sikre at transporten, i en ikke så fjern fremtid, kan fungere indenfor rammerne af et vedvarende energisystem. Transportsystemet inkluderer såvel indenlandsk som udenlandsk transport, som dækker danskernes transportefterspørgsel. Således er inkluderet halvdelen af den internationale flytrafik og godstransport med skib, lastbil og tog, som starter eller slutter i Danmark. Transitttransport indgår **ikke**.

Hvis Danmark skal nå de generelle klimamål, der er sat på kort sigt, skal der sættes kraftigt ind overfor transportens klimagasudledninger. Danskernes energiforbrug til transport er vokset godt 20 % fra 1990 til 2010, hvor energiforbruget faldt en anelse i 2008 og lidt mere i 2009². Hvor der i andre sektorer er sket en afkobling mellem den økonomiske vækst og energiforbruget, gælder dette ikke transportsektoren. Transportsektoren har derfor et efterslæb når klimamålsætningen for 2020, i forhold til udgangsåret 1990, skal nås. Også på længere sigt vil det blive svært for transportsektoren at yde et tilsvarende bidrag som andre sektorer, hvis ikke der sættes kraftigt ind. Der er ligefrem en risiko for, at gevinster på andre områder tabes, hvis forbruget af fossile brændsler i transportsektoren fortsat stiger.

Det fremgår af regeringsgrundlaget fra oktober 2011, at målet for en dansk klimapolitik er at reducere Danmarks udledning af drivhusgasser i 2020 med 40 % i forhold til niveauet i 1990. Selv hvis man straks påbegynder en aktiv politik for indførelse af de nødvendige teknologier i transportsektoren, vil det ikke være muligt at få transporten ned på dette niveau. Det fossilfri scenarie viser, at det er muligt at reducere drivhusgasudledningen med ca. 15 % frem til 2020.

Omstillingen af transporten til vedvarende energi kan ikke ske uden medvirken af de beslutningstagere og aktører, som til daglig har ansvaret for at dække danskernes transportbehov. Derfor har Teknologirådet samlet såvel eksperter som vigtige aktører og beslutningstagere i projektets styregruppe for at sikre, at forskellig viden om og syn på, hvordan transportsektoren kan indrettes, blev inkluderet i arbejdet. Gennem projektet har styregruppen arbejdet sig frem til en fælles forståelse af, hvor udfordringerne ligger, og hvilke løsningsmuligheder der er.

Projektet har anvendt scenarieberegninger til at undersøge potentialet for at gøre danskernes transport 100 % VE baseret i 2050. Fremgangsmåden kaldes back casting og er skitseret i figur 1. Ud fra et fastsat mål, som her er at reducere CO2 udslippet fra transport til ved en omstilling til 100 % VE, beregnes scenarier som viser, hvor meget CO2 udslippet kan reduceres ved energieffektivisering ved hjælp af teknologi. Hvis dette ikke er tilstrækkeligt til at nå målet, må modale skift og midler, som påvirker mobilitetsbehovet, tages i brug.

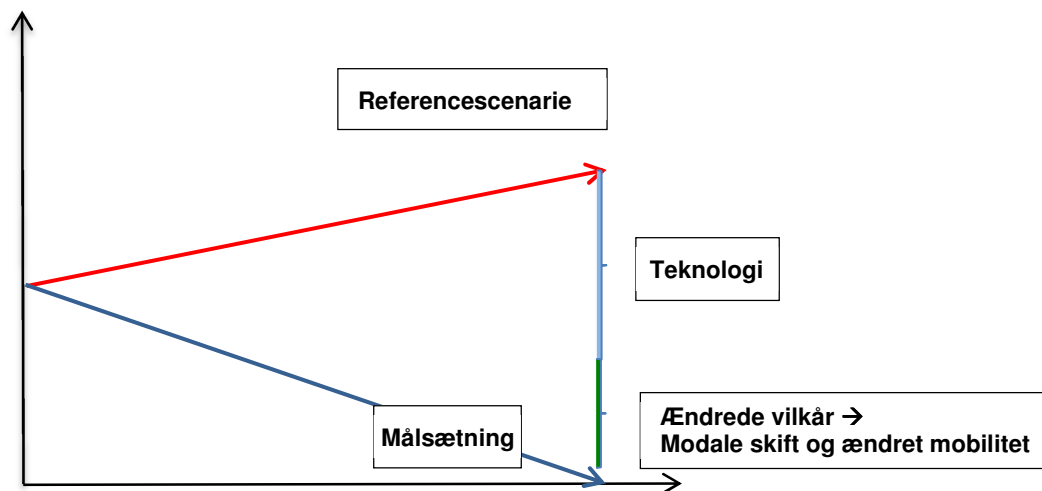
Resultaterne, i form af 3 scenarier (se Figur 2), skal tjene som oplæg til en debat om de transportpolitiske valg, der skal træffes snarest for at sikre danskernes mobilitet fremover, i en situation hvor olien bliver dyr, forsyningssikkerheden sårbar og klimaforandringerne kalder på kraftige reduktioner i CO2 udslip. Beregningerne tager udgangspunkt i hvor meget mobilitet, der kan opnås indenfor den mængde energi, der vil være til rådighed for transportsektoren.

Der er anvendt resultater fra Klimakommissionens arbejde. Med udgangspunkt i 'fremtidsforløb A' er energiproduktionen beregnet, herunder andelen af biomasse der vil være til rådighed for transportsektoren, hvis biomasseforbruget skal være bæredygtigt.

² Ifølge Energistatistik fra Energistyrelsen. De 20 % er inklusiv udenrigsfly, men eksklusiv International skibsfart.

Fremgangsmåde

CO₂ udslip



Figur 1 Skematisk fremstilling af metoden: backcasting fra den udvikling, hvor der ikke gøres noget (den øverste linje), til den ønskede udvikling, som er fastsat ved målsætninger (den nederste linje). For at lukke gabet mellem de to linjer ser man først hvor langt man kan nå med teknologisk effektivisering. Hvis gabet ikke bliver lukket, kan man ved ændrede vilkår og brug af politiske virkemidler, motivere til at skifte til mere energieffektive transportformer og styring af mobilitetsbehovet.

Når danskernes transport skal omstilles til vedvarende energi, er der to hovedspor, som kan forfølges: **biobrændstoffer** og **eldrift**. For at sikre den mest bæredygtige omstilling er der lagt et loft over biomasseandelen af transportens energiforbrug på 100 PJ. Det svarer til den mængde biomasse, der ifølge Klimakommissionens beregninger vil være til rådighed for transporten, hvis der kun anvendes biomasse, der er produceret i Danmark med en uændret fødevarerproduktion³. Forbruget af el, til især personbiltransport, kan der skrues op for, uden at det går ud over bæredygtigheden. Det er kun betalingsvilligheden, der står i vejen, fordi et større elforbrug vil kræve flere investeringer i for eksempel vindmøller, som kan levere den vedvarende energi til bilkørsel. En beregning viser, at det vil koste cirka 1 mia. kroner årligt i 2050 at holde personbiltransporten på niveau med 2010, og 2,3 mia. kroner årligt, hvis personbiltransporten skal være på niveau med referencescenariet i 2050. Det svarer til henholdsvis ca. fire gange Horns Rev 1 eller 9 gange Horns Rev 1.⁴

Der er først beregnet en fremskrivning af transportvæksten til 2050, og det energiforbrug og CO₂ udslip transporten giver. Med udgangspunkt i dette referencescenarie er det beregnet, hvor langt ned i energiforbrug og CO₂ udslip man kan nå, ved at implementere de bedste, kendte teknologier til energieffektivisering og alternative drivmidler, så hurtigt det kan lade sig gøre. Der opnås således en ret stor reduktion af energiforbrug og CO₂ udslip ved brug af bedre teknologier til transport. Men bedre teknologier kan ikke alene give en fuld omstilling til vedvarende energi og en reduktion af transportens CO₂ udslip til 0.

³ Dette er kravet for det ene af Klimakommissionens to scenarier, fremtidsforløb A. Fremgår side 25 i Klimakommissionen rapport "Grøn energi – vejen mod et dansk energisystem uden fossile brændsler", 28. september 2010.

⁴ Horns Rev Havmøllepark består af 80 vindmøller med en samlet produktionskapacitet på 160 MW. Vindmøllerne producerer, hvad der svarer til strømforbruget i 150.000 danske husstande. Horns Rev Havmøllepark er placeret i Nordsøen cirka 14 kilometer ud for Danmarks vestligste punkt, Blåvands Huk, nord for Esbjerg.

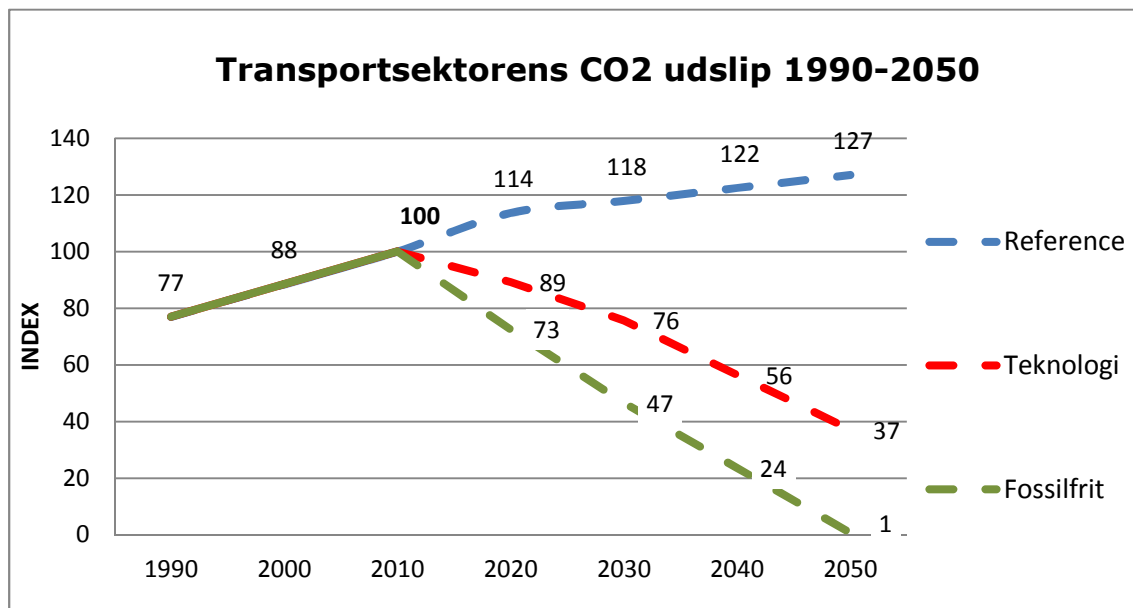
Der er brug for at implementere en række virkemidler, som kan påvirke transportadfærden, så det samlede energiforbrug bringes ned.

Det fossilfri scenarie lever op til målsætningen om at gøre transporten helt uafhængig af fossile brændsler ved at omstille til 100 % vedvarende energi. Der kan opstilles andre alternative fossilfri scenarier med anden sammensætning af trafik, teknologier, energikilder og virkemidler. For eksempel kunne man vælge at øge biomasseforbruget med de konsekvenser det vil have for energipriser, fødevareproduktion og trafikvækst. Det beregnede scenarie skal derfor ses som en illustration af én mulig fremtid med fossilfri transport.

Resultater

Det er muligt helt at omstille danskernes transport⁵ til vedvarende energi i 2050 og dermed indfri klimamålene uden energiøkonomiske omkostninger for samfundet. Der vil tværtimod være en økonomisk gevinst ved det, i kraft af store besparelser på brændsel og sparede investeringer i energisystem og køretøjer.

Effekten af at implementere energieffektive transportteknologier og VE-brændsler (i et hurtigt men realistisk tempo), vil indtil 2030 alene sikre en tilbagevenden til niveauet for transportens CO₂ udslip i 1990. Først herefter bidrager teknologierne til en egentlig reduktion af CO₂ udslippet. Fra 2010 til 2050 er det muligt at reducere CO₂ udslippet med 60 % (eller med 50 % i forhold til 1990 niveau) ved hjælp af teknologi alene, og samtidig holde biomasseforbruget under 100 PJ.

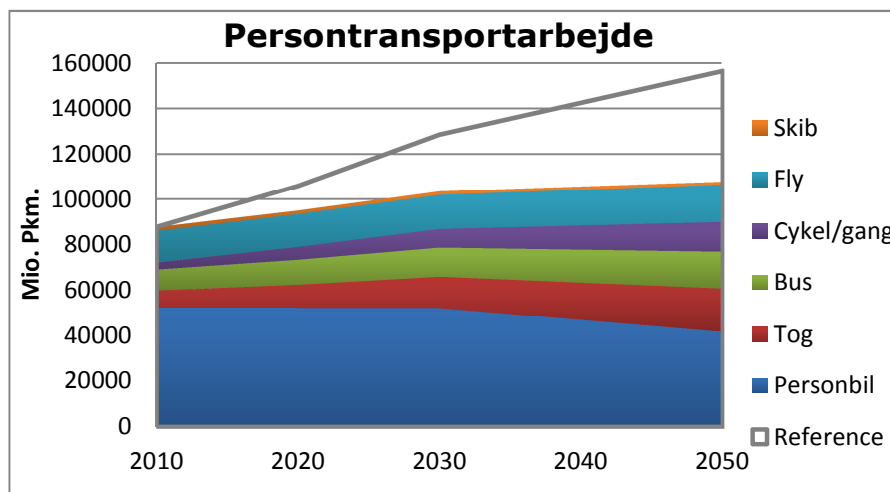


Figur 2 Transportsektorens CO₂ udslip index, 2010-2050 i 3 scenarier

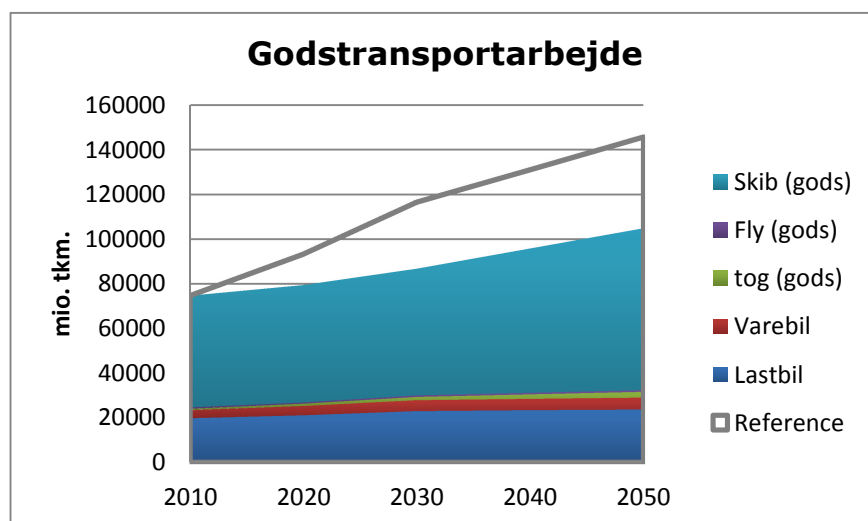
⁵ Transportsystemet dækker såvel indenlandsk som udenlandsk transport som dækker danskernes transportefterspørgsel. Således er halvdelen af international flytrafik og godstransport med skib, lastbil og tog som starter eller slutter i Danmark medtaget, mens transit transport ikke indgår.

For at reducere udledningen af CO₂ de resterende 40 %, og for at nå målsætningen 100 % reduktion i 2050, må man anvende en række økonomiske, planlægnings- og reguleringsmæssige virkemidler. Det er altså den samlede effekt af at implementere en række teknologier og virkemidler, som gør det muligt at gøre transporten helt fri af fossile brændsler i 2050, og dermed overholde klimamålene. Se figur 2.

Effekten af virkemidlerne er en reduktion af væksten i transportarbejdet og en reduktion i trafikarbejdet⁶, sammenlignet med referencescenariets fremskrivning. Se Figur 3 og Figur 4, hvor referencens transportarbejde sammenlignes med transportarbejdet i det fossilfri scenarie.



Figur 3 Persontransportarbejde 2010-2050 – fossilfrit scenarie.



Figur 4 Godstransportarbejde 2010-2050 – fossilfrit scenarie

⁶ Transportarbejdet udtrykker hvor langt et antal personer eller en mængde gods bliver transporteret. Trafikarbejdet udtrykker hvor mange km. transportmidlerne tilbagelægger, og dermed hvor stor belastningen fra trafikken er på infrastrukturen. Trafikarbejdet kan godt reduceres uden en reduktion i transportarbejdet. Hvis eksempelvis to bilture af samme længde med én person i hver bil erstattes af én tur med to personer i bilen er transportarbejdet det samme, men trafikarbejdet halveret.

Teknologi giver, i de fleste tilfælde, både en klimateffekt og energieffektivisering for de enkelte transportmidler. I enkelte tilfælde er der dog alene tale om en klimateffekt. Virkemidlerne får brugerne af transport til at skifte til mere energieffektive transportformer. Endvidere er virkemidlerne et incitament til at fylde mere gods og få flere personer ind i transportmidlerne. Der sker altså modale skift og bedre kapacitetsudnyttelse. Desuden vil virkemidlerne tilskynde til at undgå nogle af de mindre nyttige ture, altså ture, hvor der ikke er tale om et påtrængende mobilitetsbehov, og dermed også tilskynde til kortere ture.

Mobilitet har betydning for den enkelte borgers hverdag, for et velfungerende arbejdsmarked og for virksomheders produktivitet og konkurrenceevne. Ofte fremhæves det, at økonomisk vækst og øget mobilitet er uadskillelige størrelser. Et ofte anvendt kvantitativt mål for mobiliteten er transportarbejdet, altså hvor mange kilometer en person eller et ton gods bliver flyttet med et transportmiddel. Men mobilitet kan også forstås som muligheden for at overvinde afstand. Med en sådan definition kan mobiliteten øges ved hjælp af Internettet, altså uden transport. Hvorledes mobilitet skal forstås, er der imidlertid ingen præcis definition af. Hvis vi ønsker en vis vækst i mobiliteten, men samtidig vil undgå, at trafikken, og dermed energiforbruget, vokser uhæmmet, bliver det vigtigt at tale om, hvilken mobilitet vi ønsker. Det er en del af rationalet bag den reducerede vækst i (person)transportarbejdet og det faktiske fald i trafikarbejdet, som det fossilfri scenarie viser. Med en prioritering af hvor mobiliteten skal vokse mest, lykkes det i det fossilfri scenarie at dække transportens energiforbrug med vedvarende energi i 2050 og holde biomasseressourceforbruget til transport under 100 PJ. Prioriteringen afspejler, at der er områder i Danmark, hvor personbilen fortsat vil være det vigtigste transportmiddel, fordi der ikke er de samme muligheder for at tilbyde kollektiv transport på en energieffektiv måde.⁷

Den reducerede vækst i transportarbejdet dækker over flere ændringer, hvoraf nogle kan opleves som forringet mobilitet, mens andre giver en bedre mobilitet. Hvis fysisk planlægning mindsker behovet for transport, fordi man bor tættere på de steder, man vil opsøge, kan det betyde, at der spares transportarbejde, hvilket må være en fordel, også i sparet tidsforbrug. Omvendt kan nogle opleve det som forringet mobilitet, når bilture, hvor man sidder i tørvejr, udskiftes med cykelture i al slags vejr, selvom det er på strækninger under 5 kilometer. Et skift fra personbil til kollektiv transport kan resultere i forlænget rejsetid og dermed opleves som forringet mobilitet, selvom det ikke ændrer på muligheden for at flytte sig fra sted til sted. Omvendt kan kortere rejsetid blive resultatet for rejser med kollektiv transport i prioriterede vejbaner på pendlerstrækninger, hvor vejtransporten er plaget af trængsel.

Når befolkningen bliver bedt om at pege på, hvad der vil gøre kollektiv transport mere attraktivt for dem, er høj frekvens, pålidelighed/til tiden, minimum af ventetid, sammenhæng mellem flere transportmidler (co-modalitet) yderst vigtige faktorer. Det stiller store krav til forbedring af det kollektive trafiksystem, hvis et skift fra personbil til bus eller sporbundne transportmidler ikke skal opleves som en betydelig forringelse af mobiliteten.

Virkemidlerne, der er implementeret i det fossilfri scenarie, er hentet i et europæisk forskningsprojekt⁸, som har undersøgt mulighederne for at reducere transportens udledning af klimagasser ved at reducere

⁷ Til beregning af scenarierne er der udarbejdet et omfattende datasæt, som segmenterer transportarbejdet i forhold til for mal, turlængde, område i Danmark mv. Den geografiske parameter dækker kun persontransport, da der ikke findes tilstrækkeligt gode geografiske data om godstransport.

⁸ EU-Transport GHG: Routes to 2050 – Towards decarbonisation of the European Transport Sector by 2050, EU-2010, rapporten "SULTAN: Development of an Illustrative Scenarios Tool for Assessing Potential Impacts of Measures on EU Transport GHG".

transportarbejdet. Den kvantificering af virkemidlernes effekt, som forskningsprojektet når frem til, bygger primært på ekspertvurderinger, da det er uhyre vanskeligt at dokumentere effekter af ikke iværksatte virkemidler. Alle virkemidler i dette forskningsprojekt er valideret efter samme krav, og er blevet betragtet som en samlet pakke, hvor det ikke er hensigtsmæssigt at justere på effekten af nogle og ikke af andre virkemidler, selvom nogle af virkemiddeleffekterne kan diskuteres.

Dokumenteret effekt findes kun i få tilfælde, da der oftest er mange faktorer, der spiller komplekst sammen med et givent virkemiddel. Eksempelvis kan der være såkaldte "reboundeffekter" i spil, hvor mindre trængsel på vejene kan gøre det attraktivt at tage bilen, hvilket vil genskabe trafikarbejde og øge energiforbruget. Der er uden tvivl behov for dybere og mere detaljerede analyser af samspillet mellem virkemidler, reboundeffekter og synergieffekter m.m. Disse usikkerheder ændrer dog ikke ved det overordnede resultat af denne beregning af et fossilfrit scenarie, som meget tydeligt viser, at det er muligt at omstille danskernes transport til vedvarende energi, og endda økonomisk givtigt, hvis det kombineres med en begrænset vækst i trafikarbejdet.

Dette understreges af, at der er virkemidler og mulig ændring i vaner og transportmønstre, som ikke indgår i beregningerne. For eksempel er der ikke indregnet en effekt af virtuel mobilitet (for eksempel internetbaserede møder), hvor udviklingen indenfor informationsteknologi i fremtiden vil kunne erstatte en hel del rejser. En stigende anvendelse af hjemmearbejdspladser er således ikke indregnet, selvom det må vurderes som sandsynlig. Der er forudsat en vis udvikling af de teknologier, der kendes i dag, men der er ikke indregnet teknologispring. I den forstand er beregningerne konservative og må derfor vurderes som robuste overfor den usikkerhed, der ligger i de anvendte data.

For Klimakommissionen var det vigtigt at nå målet uden nævneværdige **omkostninger for samfundet**. Og Kommissionen viste, at det var muligt. Det samme viser denne analyse af omstilling af transporten til vedvarende energi. Med brændselsbesparelsen og det hidtidige investeringsniveau in mente, vil der være rigeligt økonomisk råderum til at gennemføre de investeringer, som det fossilfrie scenarie kræver. Den samfundsøkonomiske besparelse ved det fossilfrie scenarie vil være på ca. 55 mia. kr. om året i 2050. Der skal investeres i ny trafikinfrastruktur, men ikke nær så meget, som hvis udviklingen fortsætter som i referencescenariet. Hidtil har investeringer i infrastruktur, primært vej og bane, ligget på 3-5 mia. kroner om året, svarende til 150-200 mia. kroner på 40 år. I perioden 2009 – 2020 investerer staten 8-9 mia. kroner i trafikinfrastruktur pr. år (metro og Fehmarn Belt forbindelsen er ikke medregnet, da de forudsættes selvfinansierende). Prisen for den nødvendige jernbaneinfrastruktur og elektrificering er i det fossilfrie scenarie skønnet at ville være i størrelsesorden 100-150 mia. kroner, mens der vil være et mere begrænset behov for investeringer i vejnettet. I det fossilfrie scenarie vil det årlige statslige investeringsbehov i baner i perioden 2020-2040 ligge på 5-7,5 mia. kroner årligt. Det vil altså være mindre end de planlagte investeringer frem til 2020.

Netop behovet for **infrastrukturinvesteringer** er det vigtigt at se grundigt på, når et fremtidigt transportsystem omstillet til VE er målet. I regi af dette arbejde har det alene været muligt at give en skønsmæssig vurdering af dette behov. Der tegner sig dog et tydeligt billede af, at de betydelige besparelser på trafikarbejde, som en effektivisering af transportsystemet vil medføre for at opnå den energieffektivisering der er brug for, reducerer behovet for at udbygge vejkapaciteten. Tiden frem til 2030 vil i det fossilfrie scenarie være domineret af investeringer i kollektiv transport. De større investeringer i vejinfrastrukturen vil der først blive behov for efter dette tidspunkt, og måske først efter 2050.

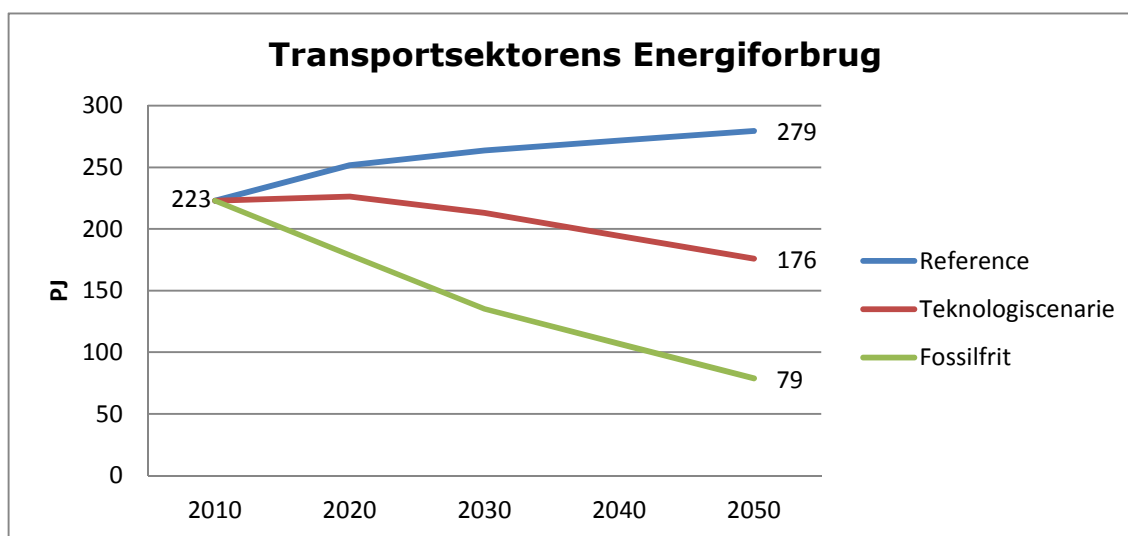
Kort opsummeret viser projektets beregninger, at:

- Det kan lade sig gøre at omstille Danmarks transport til forsyning fra et 100 % vedvarende energisystem i 2050, hvor biomasseforbruget til transport holder sig under 100 PJ.
- Der vil være en positiv samfundsøkonomisk gevinst. Det vil sige, at virksomheders og borgernes besparelser på brændsler og køretøjer er større end de investeringer, staten skal foretage på vej- og baneinfrastrukturen.
- Teknologi og skift i brændsler kan give omkring 50 % CO2 reduktion i 2050. Resten må hentes hjem gennem andre virkemidler.
- Transportarbejdet (mobiliteten) vil stadig kunne vokse, men ikke til samme niveau som i referencescenariet.
- Fysisk planlægning er det vigtigste af de 12 benyttede virkemidler i det fossilfri scenarie. Det øger markedsandelen for kollektiv transport og mindsker afstande mellem vigtige byfunktioner, og kan på længere sigt dæmpe væksten i transportarbejdet.

1. Scenariernes energiforbrug og CO₂-udledning

Der er udarbejdet tre scenarier, og beregningerne viser, at det er muligt at nedbringe transportens energiforbrug til et niveau, som kan indpasses i det energimæssige råderum i et 100 % vedvarende energisystem. Dette muliggøres ved en kombination af teknologiske skift i transporten og virkemidler, der påvirker transportarbejdets størrelse og valget af transportform.

1.1 Energiforbruget



Figur 5 Energiforbrug (tank to wheel) for danskernes transport i de tre scenarier.

Energiforbruget i de 3 scenarier frem til 2050 bliver sammenlignet i Figur 5.

I *referencescenariet*, som er en fremskrivning af den aktuelle tendens for transportefterspørgslen, og derfor har et stigende energiforbrug, er der en lavere vækst i energiforbruget (cirka ½ % årligt) end i den forventede vækst i transporten (cirka 1,5 % årligt). Dette skyldes, at der i referencescenariet indgår en vis forventet energieffektivisering på alle transportformer, samt at der er indregnet effekten af visse allerede vedtagne målsætninger. Men ikke desto mindre vokser energiforbruget med godt 50 PJ, dvs. knap 20 %, hvilket betyder, at referencescenariet kun meget vanskeligt vil kunne indpasses i et vedvarende energisystem, hvor kravet til energibesparelser er betydeligt. Referencescenariets resultater gennemgås i afsnit 4.1, og data er dokumenteret i bilag 5.

Teknologiscenariet sænker transportens energiforbrug med i størrelsesordenen 25 % gennem forceret indførelse af mere effektive energiteknologier, en forcering som forudsætter brug af virkemidler, der motiverer til udskiftning af systemer og køretøjer. Dette opnås med samme transportvækst som i referencescenariet. De involverede teknologier er især el- og hybridteknologier, samt biobrændstoffer (se fordeling i tabeller i bilag 6). Effekten af disse teknologier er i de første 20 år begrænset, dels på grund af afskrivningstiden på eksisterende køretøjer og dels på grund af lav effektivitet i for eksempel batteriteknologierne. I 2050 forventes det derimod, at teknologierne er modnede og attraktive, og at et fuldstændigt skift til CO₂-frie teknologier derfor er teoretisk muligt. Men på grund af transportarbejdets størrelse i

teknologiscenariet vil et vedvarende energisystem, hvor biomasseforbruget skal dækkes af national produktion, ikke kunne levere den nødvendige energi til transporten⁹. Derfor rummer teknologiscenariet stadig et betydeligt forbrug af fossile brændstoffer i 2050. Teknologiscenariets resultater gennemgås i afsnit 4.2, og data er dokumenteret i bilag 6.

Det *fossilfri scenarie* tager afsæt i, at transportsektoren skal drives af 100 % VE og undersøger, ved at regne baglæns, hvad der skal til for at nå dette mål. Det tager fat om det transportforbrug, som er begrænsende for energibesparelserne, og som har høje CO₂-udledninger i teknologiscenariet. Det bygger videre på teknologiscenariet ved at supplere med en række økonomiske, planlægnings- og reguleringsmæssige virkemidler. Effekten af virkemidlerne er, at efterspørgslen på transport dæmpes lidt, og at der i et vist omfang skiftes til mere energieffektive og CO₂-neutrale transportformer. Derved reduceres energiforbruget til 35 % af forbruget i 2010, så forbruget kommer ned under 80 PJ. Det er et niveau, som kan forsynes fra et vedvarende energisystem, svarende til det system, som Klimakommissionen har beskrevet. I beregningen af det fossilfri scenarie for danskernes transport anvendes der en mindre mængde el (18PJ TTW i 2050), end det el-forbrug (71PJ TTW i 2050) Klimakommissionen har beregnet til transport. Årsagen er, at der i Klimakommissionens beregninger er en større vækst i transportarbejdet med transportmidler, som skal drives af el, og der er forudsat en større andel af biler, busser, lastbiler m. v., som kan drives af el. Endelig er der mindre optimisme for virkningsgrader på el-drevne køretøjer i Klimakommissionens beregninger, end der er i det fossilfri scenarie.

Resultater af det fossilfri scenarie gennemgås i afsnit 4.3.

Når energisystemet er bragt i balance med leverancerne fra et vedvarende energisystem, er det muligt at øge transportarbejdet i takt med, at energiproduktionen fra det vedvarende energisystem øges. Vælger man for eksempel at udvide det energimæssige råderum i 2050, ved at opsætte flere vindmølleparker, solceller og lignende, end forudsat i beregningerne, kan den opnåede "overskudsenergi" bruges til yderligere energitjenester, herunder til transport. Man kan således som eksempel forestille sig, at der i fremtiden (i tiden efter 2050), kan køres flere personkilometer med elbiler og færre med cykler end forudsat i beregningerne, hvis det vedvarende energisystem dimensioneres til det. Den begrænsende faktor er i den forbindelse betalingsvilligheden, idet udgifterne til en større elproduktion vil afspejles i energiprisen. I det fossilfri senarie afgøres betalingsvilligheden af det oplevede velfærdstab i kraft af de virkemidler, der påvirker transportforbruget.¹⁰

Denne mulighed for at lægge mere transport ind i scenarierne, gennem yderligere investering i vedvarende energi, gælder ikke kun i tiden efter 2050. Vælger man at investere mere i vedvarende energi i perioden frem til 2050 end forudsat i beregningerne, kan man til dels modvirke behovet for virkemidlerne i det fossilfri scenarie. Men også kun til dels. Det er nemlig, og i høj grad, begrænsninger i tilgængeligheden af biomasse, der er afgørende i 2030. Mere el i energisystemet vil i tiden op til 2050 kun få begrænset effekt, fordi teknologierne ikke forventes at være modne til mere eldrift, end hvad der allerede er indbygget i teknologiscenariet.

⁹ I Klimakommissionens scenarier er transporten dækket af vedvarende energi, selvom væksten i transportarbejdet ikke dæmpes. Klimakommissionen har dog ikke medregnet international transport som det gælder for de tre scenarier her. I afsnit 5.2 er beregnet omkostninger ved at udbygge den vindmøllebaserede elproduktion til at dække et højere niveau af personbiltransport. Betragtningerne gælder det fossilfri scenarie, men kan også til en vis grad overføres til teknologiscenariet.

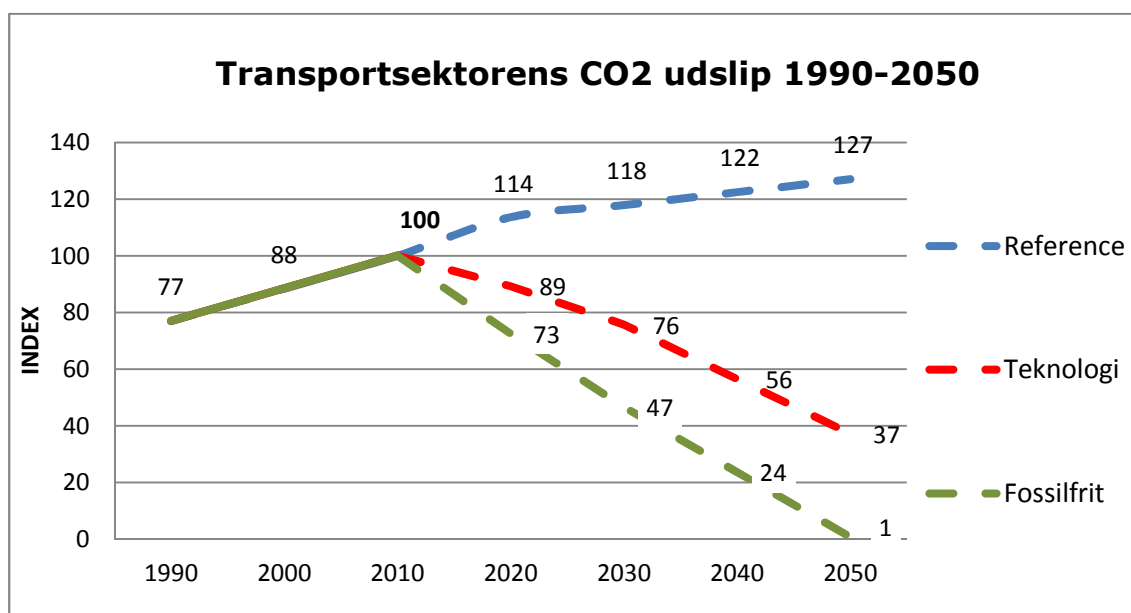
¹⁰ En beregning af omkostninger til el-drevet personbiltransport på 2010-niveau fremgår af afsnit 5.2.

Profilen for energiforbruget i de tre scenarier viser således, at et hurtigt skift til store mængder VE i energisystemet, vil mindske det oplevede velfærdstab ved overgangen til et VE-baseret transportsystem. Men man kommer ikke udenom at anvende både ny teknologi og virkemidler, der motiverer til ændret og reduceret transportforbrug, hvis man vil gøre sig fri af fossile brændstoffer i transporten. Dermed kommer man ikke udenom, at der, i hvert fald i en lang overgangsperiode, vil være et velfærdstab i kraft af reduceret transportvækst og ændrede transportvaner. Dette tab skal dog sættes op mod de fordele, der følger med fossilfri transport, såsom sikkerhed i energiforsyningen, økonomiske besparelser (se kapitel 5), øget sundhed og klimaforbedringer.

1.2 CO₂-udledning

Sammenligner man CO₂-udledningen og energiforbruget for de tre scenarier, kan der ses en tydelig afkobling mellem energiforbrug og CO₂ gennem den målrettede indsats, der ligger i teknologiscenariet og det fossilfri scenarie. Derimod sker der ingen afkobling af betydning i referencescenariet, som er en fremskrivning af den aktuelle tendens for transportefterspørgslen, og derfor har et stigende energiforbrug. Hovedparten af energien kommer her fra fossile brændstoffer.

I *teknologiscenariet* sker der en aktiv introduktion af de, på ethvert tidspunkt, bedste teknologier, hvad angår effektivitet og CO₂-udledning. Procentuelt bliver reduktionen af CO₂-udledning større end energibesparelsen, fordi den tilstedeværende vedvarende energi, over tid kan dække en stigende andel af energiforbruget. Reduktionen der opnås i 2050 er på 60 % af niveauet i 2010, selvom væksten i transportarbejdet er på samme niveau som i referencescenariet. Men sammenlignes der med CO₂ referenceåret 1990, kommer man først tilbage til samme niveau i 2030. Det vil altså, uanset om man straks påbegynder en aktiv politik til indførelse af de nødvendige teknologier, ikke være muligt at få transporten til at kunne følge hidtidige klimamålsætninger om 20-40 % reduktion i 2030 i forhold til 1990, endsize at nå regeringens mål om at Danmarks udslip af drivhusgasser i 2020 skal reduceres med 40 % i forhold til niveauet i 1990.



Figur 6 Transportsektorens CO₂ udslip index, 2010-2050 i 3 scenarier

I det fossilfri scenarie opnås der en reduktion i 2020 på omkring 5 % og i 2030 på 40 % af 1990 niveauet. I 2050 opnås der, i det fossilfri scenarie, en reduktion på cirka 99 % CO₂ i forhold til 1990. Den resterende CO₂ er knyttet til produktionen af elektricitet og biobrændsel¹¹, og der er således ikke i 2050 en CO₂-udledning fra selve transporten af mennesker og gods.

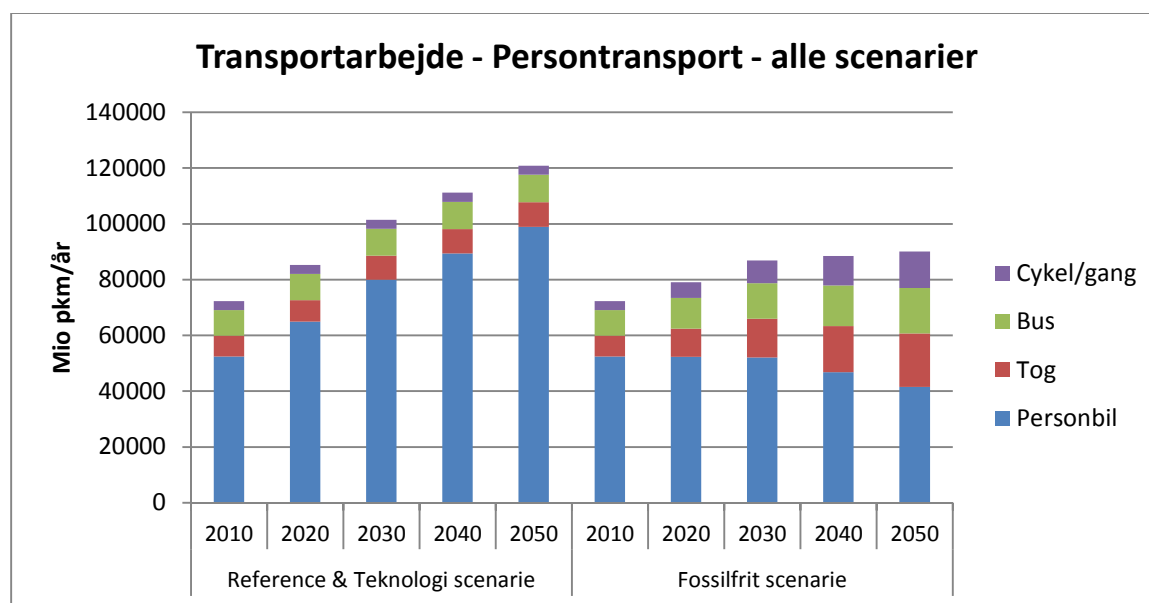
Det er ikke umuligt at forestille sig, at der kan ske en vis forcering af udviklingen i de første årtier af scenarierne. Eksempelvis vil en stærkt stigende oliepris eller høje skatter på fossile brændstoffer motivere til, at næste generation af biler med forbrændingsmotor vil blive meget mere effektive. Man kan måske også forestille sig, at forbrugerne vil undlade at gøre brug af stærkt energiforbrugende ekstraudstyr. En sådan udvikling vil spille ind på det samlede forbrug af fossile brændstoffer, og dermed forbedre udviklingen i CO₂-udledningen. Men skal det have stor betydning, må denne udvikling ske inden forbrugere og indkøbere, anskaffer den næste generation køretøjer, idet det allerede ligger i scenarierne, at en stor andel af tredjegerationskøretøjerne vil være baseret på el- eller hybridteknologi.¹²

¹¹ CO₂ udledningen er knyttet til afbrænding af kommunalt affald til produktion af el og fjernvarme hvilket indeholder fossilt baseret materiale. Fjernvarme anvendes til at omdanne biomasse til biobrændsler.

¹² I det energipolitiske udspil fra regeringen (forhandles fortsat i skrivende stund) er det forudsat at hele elproduktionen vil være VE-baseret i 2035. Dette vurderes IKKE at have betydning for andelen af elbiler drevet af VE i beregninger af teknologi og fossilfri scenarier. Det kan have betydning for tilvejebringelse af biomasse ressourcer og tilgængeligheden af inden landsk produceret biomasse til transportformål – afhængigt af, hvordan man beslutter at anvende biomassen i fremtiden.

2. Sammenligning af de tre scenarier - udvalgte transportmidler

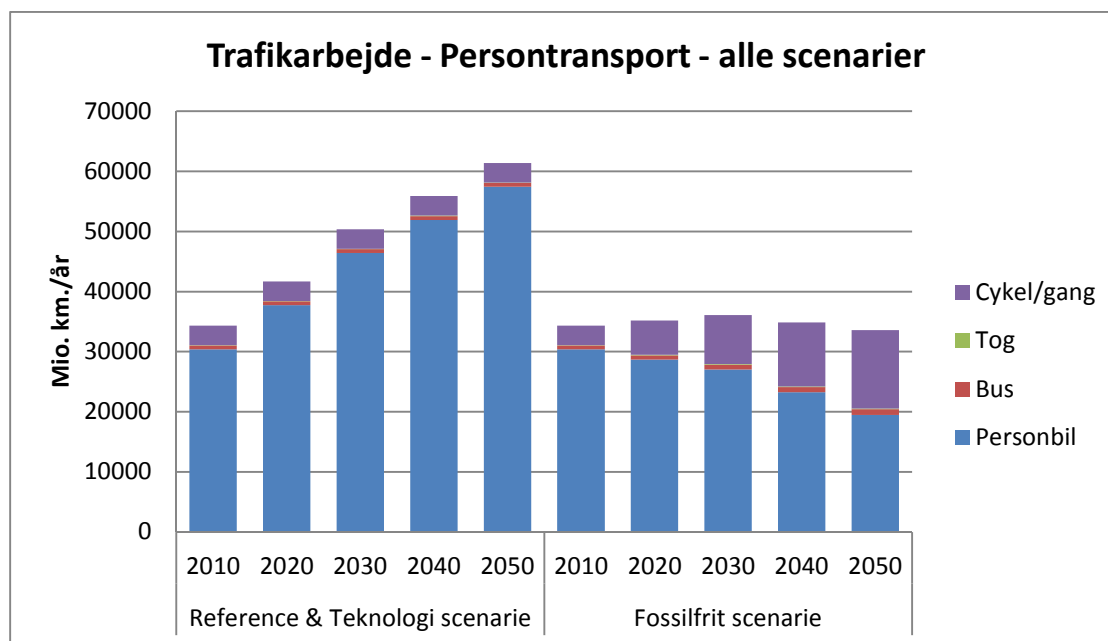
2.1. Persontransport



Figur 7 Fordeling af det transportarbejde som foretages med personbil, cykel/gang, bus og tog i de tre scenarier, 2010- 2050

Transportarbejde - Persontransport (mio. pkm. /år)	2010	2020	2030	2040	2050
Reference- & Teknologiscenarie					
Personbil	52456	64998	79953	89441	98928
Tog	7466	7655	8586	8694	8803
Bus	9175	9407	9644	9766	9888
Cykel/gang	3248	3248	3248	3248	3248
Fossilfrit scenarie					
Personbil	52456	52317	52115	46845	41576
Tog	7466	10118	13813	16494	19174
Bus	9175	10972	12814	14529	16244
Cykel/gang	3248	5701	8153	10606	13058

Tabel 1 Fordeling af det transportarbejde som foretages med personbil, cykel/gang, bus og tog i de tre scenarier, 2010- 2050



Figur 8 Fordeling af det trafikarbejde som foretages med personbil, cykel/gang, tog og bus i de tre scenarier, 2010-2050

Trafikarbejde - Persontransport (mio. km.)	2010	2020	2030	2040	2050
Reference- & Teknologiscenarie					
Personbil	30395	37724	46404	51907	57409
Tog	61	63	70	71	72
Bus	616	632	648	656	664
Cykel/gang	3248	3248	3248	3248	3248
Fossilfrit scenarie					
Personbil	30395	28681	27024	23249	19474
Tog	61	77	99	111	124
Bus	616	713	804	876	948
Cykel/gang	3248	5701	8153	10606	13058

Tabel 2 Fordeling af det trafikarbejde som foretages med personbil, cykel/gang, tog og bus i de tre scenarier, 2010-2050

For at holde transportens forbrug af energi på et niveau, der kan passes ind i et 100 % vedvarende energisystem, er der i det fossilfri scenarie beregnet effekten af et modalt skift fra personbil til andre mere energieffektive (eller klimavenlige) transportformer.

Reference- og teknologiscenarierne har den samme udvikling for transport og trafikarbejde. Sammenlignes udviklingen i disse scenarier med det fossilfri scenarie for de vigtigste persontransportformer (fly og skib er ikke medregnet) ses det, at der sker en langt mindre vækst i transportarbejdet i det fossilfri scenarie, og at trafikarbejdet falder (Figur 7 og Figur 8). I det fossilfri scenarie for 2050 vil trængslen på vejene

være den samme som i dag, mens det øgede trafikarbejde med personbil i referencescenariet, alt andet lige, betyder øget trængsel.

Tog og bus skal overtage en pæn del af transportarbejdet i det fossilfri scenarie, fordi de er mere energiefektive transportformer. Den kollektive transport (bus og sporbunden trafik) skal løfte godt en tredjedel af det samlede persontransportarbejdet i 2050, mod en femtedel i 2010.

Trafikarbejdet for kollektiv transport stiger derfor i det fossilfri scenarie noget mere end i reference- og teknologiscenariet. Trafikarbejdet med tog fordobles, og for busser øges det med 1/3.

Mere transport skal foregå til fods eller på cykel i det fossilfri scenarie. For en del cykelture, og især ture over 25 kilometer, må man forestille sig at de fleste benytter elcykler.

Målt ud fra trafikarbejdet bliver der virkelig skruet op for de bløde transportformer, især cykel, med et forhold på 2:3 sammenlignet med personbil. Da belægningsgraden skrues op for personbiler, men ikke for cykler, har personbilen dog en noget større andel af persontransportarbejdet.

Ved at firedoble persontransportarbejdet med disse "bløde" transportformer, trækkes over 10 % af det samlede persontransportarbejde ud af energiregnskabet. Energiforbruget til persontransport med bil falder markant i det fossilfri scenarie, sammenlignet med reference- og teknologiscenariet. I teknologiscenariet sker der allerede mere end en halvering af energiforbruget til personbiltransport.

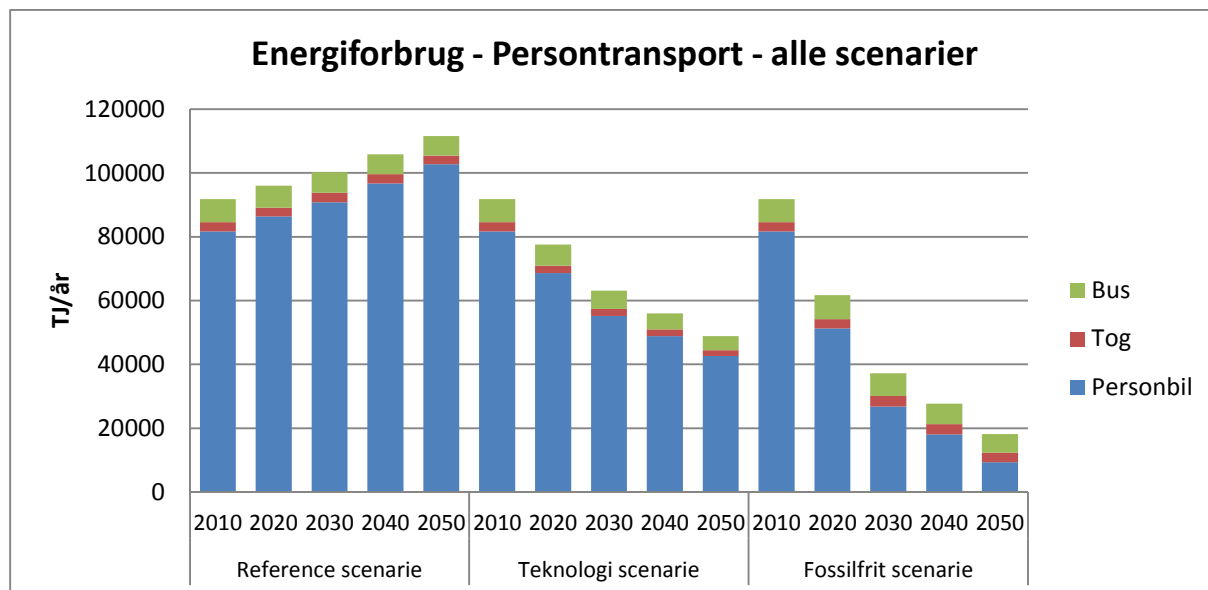
El- og plug-in-hybrid køretøjer

En analyse af elektriske køretøjer viser at rækkevidden vil øges og måske endda fordobles inden for en kort tids-horizont: Hvor gennemsnitsrækkevidden i dag er 150 km, vil den øges til 200 km for de elektriske køretøjer, som kommer på markedet i 2012-2013. Også tophastighed og accelerationsevne forbedres i de kommende år som følge af betydelige forbedringer af batteri-teknologien.

Plug-in-hybrid køretøjers rækkevidde på el vil være lavere end for rene elektriske køretøjer. Men tophastigheden og accelerationsevne er højere.

Prisen for elektriske og plug-in-hybrid familiebiler vil ikke blive ændret foreløbig.

Kilde: David Connolly m.fl. Department of Development and Planning, Aalborg University. 2011

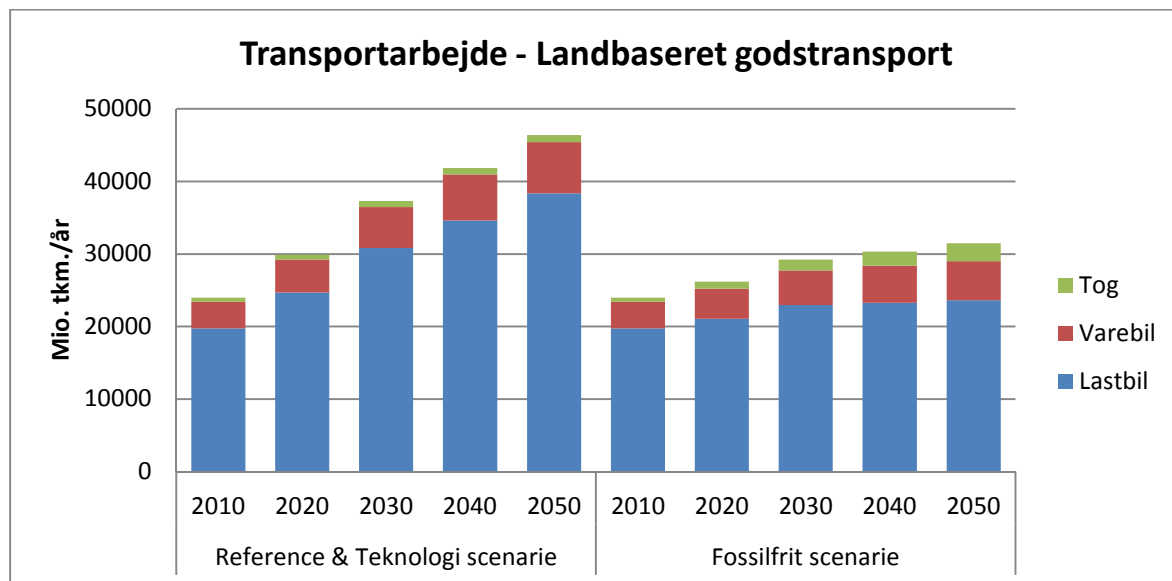


Figur 9 Sammenligning af energiforbruget til transport med bus, tog og personbil i de tre scenarier, 2010 - 2050

Energiforbrug (TJ/år)	2010	2020	2030	2040	2050
Referencescenarie					
Personbil	81715	86347	90813	96757	102700
Tog	2821	2751	2951	2844	2737
Bus	7309	6957	6451	6278	6105
Teknologiscenarie					
Personbil	81715	68591	55147	48917	42687
Tog	2821	2345	2291	2052	1813
Bus	7309	6633	5720	5048	4375
Fossilfrit scenarie					
Personbil	81715	51320	26817	18090	9363
Tog	2821	2894	3305	3163	3021
Bus	7309	7484	7098	6470	5841

Tabel 3 Sammenligning af energiforbruget til transport med bus, tog og personbil i de tre scenarier, 2010 - 2050

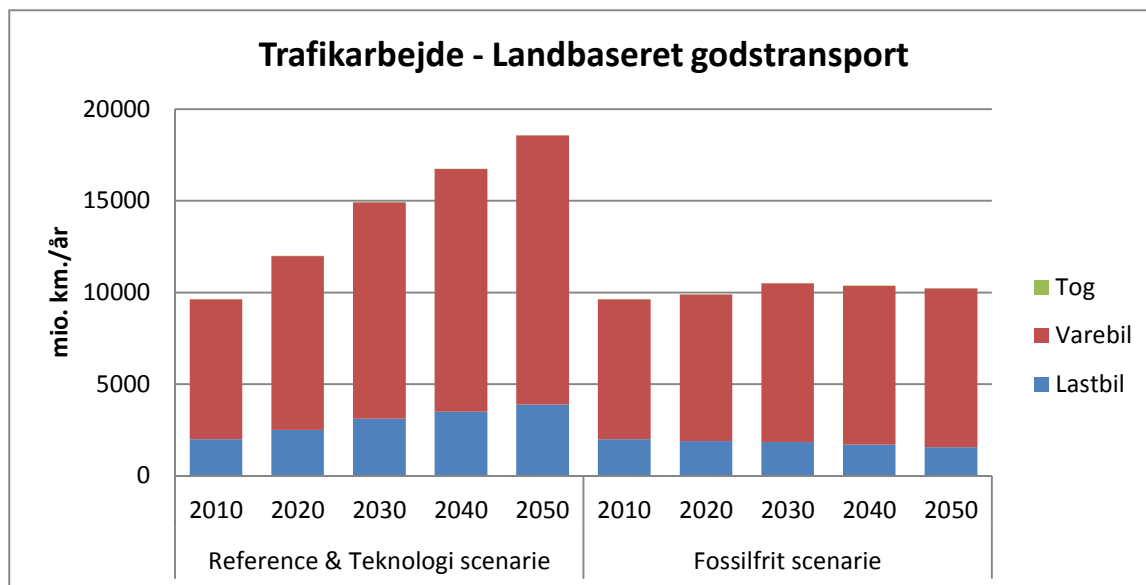
2.2 Godstransport



Figur 10 Transportarbejdet for den landbaserede godstransport sammenlignet for de tre scenarier, 2010 - 2050.

Transportarbejde - Landbaseret godstransport (mio. tkm./år)	2010	2020	2030	2040	2050
Reference- & Teknologiscenarie					
Lastbil (national + international)	19750	24672	30820	34594	38367
Varebil	3663	4554	5661	6353	7045
Tog (national + international)	561	673	814	903	991
Fossilfrit scenarie					
Lastbil (national + international)	19750	21092	22970	23292	23615
Varebil	3663	4130	4774	5089	5405
Tog (national + international)	561	983	1497	1975	2453

Tabel 4 Transportarbejdet for den landsbaserede godstransport sammenlignet for de tre scenarier, 2010 - 2050



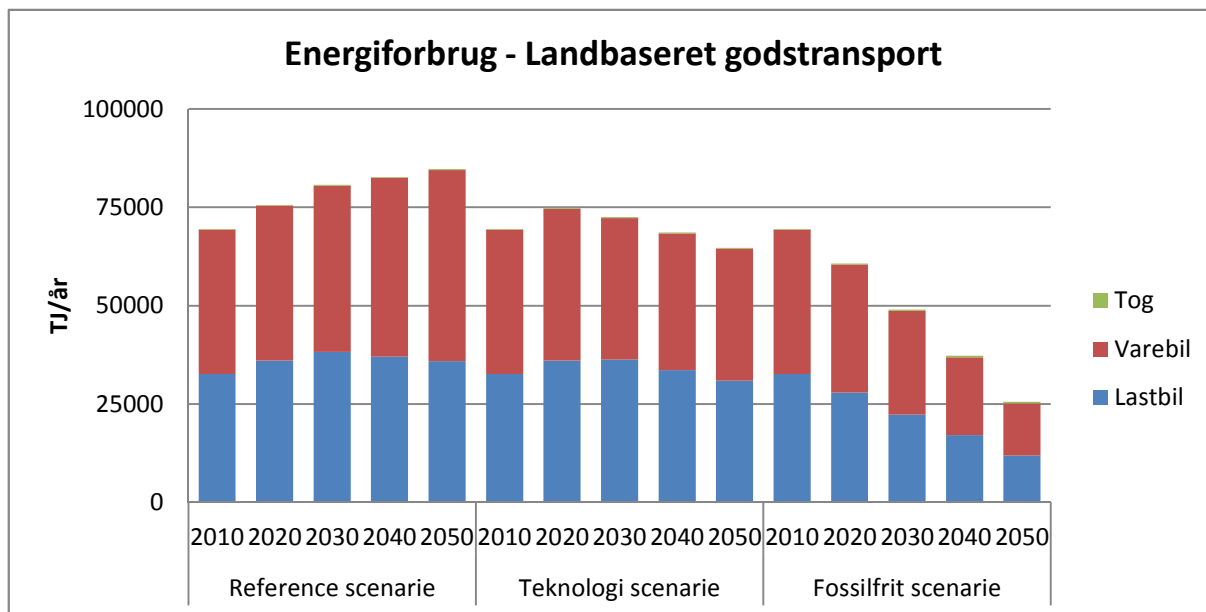
Figur 11 Trafikarbejde for den landbaserede godstransport sammenlignet for de tre scenarier, 2010 - 2050

Trafikarbejde - Landbaseret godstransport (mio. km./år)	2010	2020	2030	2040	2050
Reference- & Teknologiscenarie					
Lastbil (national + international)	2003	2500	3120	3503	3885
Varebil	7631	9486	11793	13235	14677
Tog (national + international)	1.6	1.9	2.3	2.6	2.8
Fossilfrit scenarie					
Lastbil (national + international)	2003	1893	1844	1704	1564
Varebil	7631	8005	8649	8655	8661
Tog (national + international)	1.6	2.7	3.8	4.7	5.6

Tabel 5 Trafikarbejdet for den landsbaserede godstransport sammenlignet for de tre scenarier, 2010 - 2050

Væksten i transportarbejde med gods bremses noget i det fossilfri scenarie. Der er dog en vis vækst i transportarbejdet for lastbiler og tog. Trafikarbejdet er i 2050 på omtrent samme niveau som i 2010. Der skal altså ske en bedre kapacitetsudnyttelse. Og det antages især at ske for lastbiler og tog. Derfor har varevogne fortsat en relativt stor del af trafikarbejdet i 2050 i det fossilfri scenarie.

Både for varebiler og lastbiler falder energiforbruget betragteligt i det fossilfri scenarie. Energieffektiviseringen bidrager allerede i teknologiscenariet til et reduceret energiforbrug, men her spises en del af energibesparelsesgevinsten ved de mere effektive køretøjer op af det stigende trafikarbejde. I referencescenariet, hvor både transport- og trafikarbejdet stiger betydeligt, ses også en stigning i energiforbruget, men ikke proportionalt med væksten i transporten. Der er altså sket en vis afkobling.



Figur 12 Energiforbruget for landbaseret godstransport sammenlignet for de tre scenarier

Energiforbrug – Landbaseret godstransport (TJ/år)	2010	2020	2030	2040	2050
Referencescenarie					
Lastbil (national + international)	32657	36087	38211	37065	35919
Varebil	36630	39347	42266	45408	48551
Tog (national + international)	172	194	220	230	240
Teknologiscenarie					
Lastbil (national + international)	32656	36087	36332	33639	30946
Varebil	36630	38560	35926	34713	33500
Tog (national + international)	172	187	213	224	234
Fossilfrit scenarie					
Lastbil (national + international)	32656	27943	22326	17107	11888
Varebil	36630	32537	26349	19786	13223
Tog (national + international)	172	256	348	404	460

Tabel 6 Energiforbrug for landsbaseret godstransport sammenlignet for de tre scenarier, 2010 - 2050

Gods på bane

I Danmark er andelen af godstransport på jernbane kun 9 % (tal fra 2008). Fra 2000 til 2008 steg andelen med 1 %. Til sammenligning er Sveriges andel af godstransport på 35 %, og de baltiske lande med henholdsvis Litauen med 42 %, Estland med 45 % og Letland med hele 61 % godstransport på jernbane (Eurostat, 2011).

2.3 Belægningsgrader

For persontransport skal belægningsgraderne stige på internationale (cirka 70 % til godt 80 %) og nationale busser (lidt over 25 % til omkring 30 %), tog (national: cirka 40 % til knap 50 %, international: lidt over 40 % til lidt over 50 %) samt personbil fra 1,73 personer pr. bil til omkring 2,13 personer pr. bil frem til 2050.

Belægningsgraden for personbiler øges med ½ person, for lastbiler og varebiler med cirka 50 %. For bus og tog øges belægningsgraden kun lidt, da det er svært at tiltrække flere passagerer udenfor myldretid. For godstransporten er det især på lastbilerne, at belægningsgraderne øges. Belægningsgraden på de nationale lastbiler stiger fra cirka 40 % til lidt over 60 % og på de internationale lastbiler fra cirka 40 % til cirka 60 % frem til 2050. På de internationale skibe stiger belægningsgraden fra lidt over 50 % til omkring 70 % og de nationale skibe fra lidt under 50 % til cirka 60 %. På varebil (cirka 50 % til godt 60 %) ses der også en betydelig stigning.

Belægningsgrad (% el. personer)	2010	2020	2030	2040	2050
Reference- & Teknologiscenarie					
Personbil	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
Tog (national)	40%	40%	40%	40%	40%
Bus (national)	26%	26%	26%	26%	26%
Lastbil (national)	42%	42%	42%	42%	42%
Varebil	48%	48%	48%	48%	48%
Fossilfrit scenarie					
Personbil	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1
Tog (national)	40%	42%	44%	46%	48%
Bus (national)	26%	27%	29%	30%	31%
Lastbil (national)	42%	47%	53%	58%	63%
Varebil	48%	52%	55%	59%	62%

Tabel 7 Belægningsgrader fossilfrit scenarie.

3. Scenariernes tilblivelse

3.1 Formål og fremgangsmåde:

Formålet har været at undersøge, hvad det vil kræve at omstille danskernes transport til vedvarende energi og dermed reducere transportens CO₂-udslip til 0%, samt hvilke konsekvenser det vil få for transportsystemet, danskernes mobilitet, energi- og CO₂-omkostninger og infrastrukturinvesteringer. Resultaterne, i form af 3 scenarier (se boks nedenfor), skal tjene som oplæg til en debat om de transportpolitiske valg der skal træffes snarest for at sikre danskernes mobilitet fremover, i en situation hvor olien bliver dyr, forsyningssikkerheden sårbar og klimaforandringerne kalder på kraftige reduktioner i CO₂ udslip.

Projektet har anvendt scenarieberegninger til at undersøge potentialet for at gøre danskernes transport 100 % VE baseret i 2050. I scenarierne er beregnet sammenhængen mellem mobilitetsbehov og energiforbrug, og det er undersøgt, hvad der skal til, for at energiforbruget i transportsektoren kan blive dækket i et fremtidigt energisystem baseret på vedvarende energi. Der blev lagt et loft over forbruget af biomasse svarende til en andel af den mængde biomasse, der er potentiale for at producere indenlands, uden at ændre fødevareproduktionen. Desuden var det et ønske, at omstillingen balancerede økonomisk og at danskernes mobilitet reduceredes mindst muligt.

Da der er stor usikkerhed forbundet med at forudsige transportefterspørgsel, teknologisk udvikling og befolkningsadfærd så langt frem som til 2050, har projektet fra start af ikke haft som ambition at gennemføre komplekse og sofistikerede beregninger. Det er blevet tilstræbt at udvikle et simpelt modelværktøj, som forholdsvis enkelt beregner konsekvenser af at vælge at bruge det ene virkemiddel frem for det andet. Dette gør det muligt at illustrere størrelsesordener af konsekvenser af forskellige valg. Det har ikke været hensigten, at værktøjet skulle kunne anvendes til cost-benefit analyser eller specifikke transportpolitiske handleplaner. Men værktøjet skal kunne danne udgangspunkt for den type af videregående analyser og udarbejdelse af handleplaner.

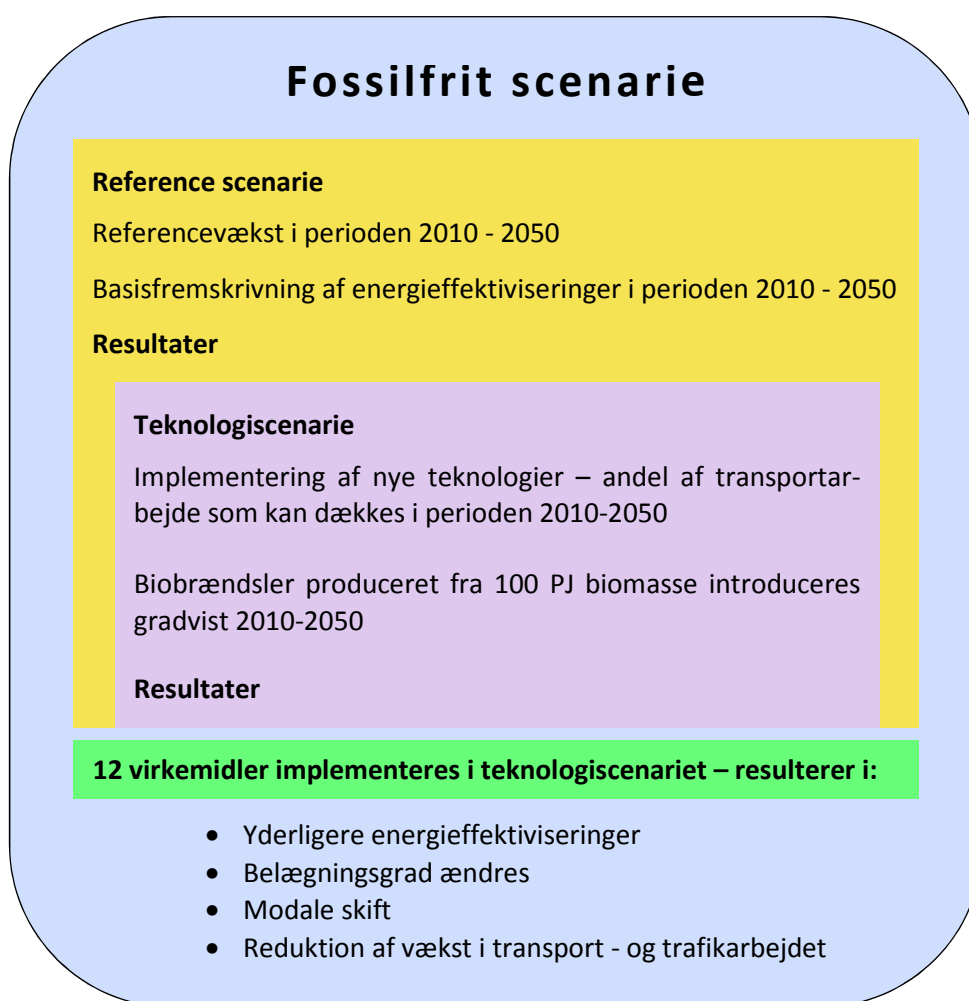
Der blev først beregnet et referencescenarie, som fremskriver udviklingen i transportarbejdet som business-as-usual, det vil sige ud fra forudsætninger om en fortsat økonomisk vækst og tilsvarende vækst i transportaktiviteter. Ved denne beregning fås en størrelsesorden for, hvor stort et fossilt energiforbrug der skal dækkes af vedvarende kilder, og hvor stor reduktionen af CO₂ skal være. Referencescenariet er beregnet på et unikt grundlag i form af data om detaljerede transportsegmenter hentet i tilgængelige datakilder og i dataudtræk fra Transportvaneundersøgelsen. Der er således for personbiler og varebiler skelnet mellem persontransportens formål (arbejdsrelateret contra fritidsrelateret), og for alle transportmidler til persontransport og godstransport er transportarbejdet underinddelt i turlængere. Referencescenariet er dokumenteret i bilag 5.

Dernæst blev det undersøgt, med samme transportmønster og transportvækst, hvor stor effekt en hurtigere implementering af energieffektive køretøjer og alternative drivmidler ville have på referencescenariets energiforbrug og CO₂ udslip. Forskellen på referencescenariet og teknologiscenariet er således alene en teknisk optimering, som skal fremmes, ved at føre en meget aktiv afgifts- og teknologipolitik som fremmer hurtig omstilling til energieffektive køretøjer. Denne kan blandt andet omfatte afgiftsfritagelse for elbiler, progressiv registreringsafgift som begunstiger hybridbiler, brug af biobrændsler og syntetiske

brændsler til tungere køretøjer og fly m.m.. Desuden skal tempoet i udvikling af mere energieffektive køretøjer øges. Det forudsætter en aktiv politik i EU overfor bilproducenterne.

Teknologiscenariet illustrerer således, hvor stor reduktion af transportens CO₂ udslip der kan opnås alene ad teknisk vej. Da teknologiscenariet ikke indfrie målet om at reducere transportens CO₂ udslip til 0%, var det nødvendigt at tage andre midler i brug. I beregningen af et dansk transportsystem som er omstillet 100 % til VE, det fossilfri scenarie, blev der derfor anvendt 12 økonomiske, planlægnings- og reguleringsmæssige virkemidler, som sammen med de tekniske forbedringer af transportsystemet gjorde det muligt at opfylde målet. Der anvendtes det samme datasæt for transportarbejde som i referencescenariet, suppleret med datasæt om den geografiske fordeling.

Hvordan reference-, teknologiscenariet og det fossilfri scenarie teknisk hænger sammen, er vist i Figur 13 nedenfor.



Figur 13 Sammenhæng mellem referencescenarie, teknologiscenarie og det fossilfri scenarie

3.2 Virkemidler anvendt i det fossilfri scenarie

Til opnåelse af målet om et fossilfrit scenarie er anvendt i alt 12 virkemidler. 10 af disse virkemidler er lånt fra SULTAN modellen, som er udviklet i et europæisk forskningsprojekt om muligheder for at reducere transportens CO₂-udslip: "EU-transport GHG:Routes to 2050 – Towards the decarbonisation of the European transport sector by 2050" (RT2050)¹³. Beregningen af det fossilfri scenarie er altså sket ved at sætte tal på effekterne på transportarbejdet, fra 10 virkemidler anvendt i SULTAN modellen. Disse virkemidler er alle relevante i en dansk sammenhæng.

SULTAN virkemidlernes kvantificering er i de fleste tilfælde baseret på eksperters vurdering af, hvor stor effekt på transportarbejdet forskellige typer af virkemidler kan have, for eksempel bedre vilkår for cyklister og fodgængere. I enkelte tilfælde er der tale om videnskabelig dokumenteret effekt. SULTAN modellens resultater er anvendt, fordi der er tale om en ensartet vurderingsmetode, så der ikke forventes at være store forskelle i vurderingen af effekten af de alternative virkemidler. Generelt er de kvantitative effekter af virkemidlerne vurderet som et gennemsnit for EU. I dette projekt er der foretaget en kvalitativ validering af virkemidlerne til brug i dansk sammenhæng. Det blev vurderet, at virkemidlernes effekter var sandsynlige. En mere tilbundsående analyse ville måske vise mindre afvigelser i effekterne af virkemidlerne. (En sådan forskningspræget analyse har været udenfor dette projekts muligheder). De sidste to virkemidler til beregning af det fossilfri scenarie er baseret på danske eksperters vurderinger. Nedenfor i Tabel 8 gennemgås de virkemidler, der er anvendt i beregningen af det fossilfri scenarie, og de tilsvarende virkemiddelpakker, som er kvantificeret i SULTAN modelværktøjet. I bilag 4 uddybes forklaringen af virkemidler med en række noter og kilder til de korte forklaringer, som står i skemaets højre side.

12 virkemidler anvendt til beregning af det fossilfri scenarie¹⁴

Navn på virkemiddelpakke anvendt i det fossilfri scenarie:	Virkemiddelpakkens navn i SULTAN modellen og eksempler på indhold:
1 Forbedrede faciliteter for cyklister og gående	<i>Package of cycling and walking improvement measures</i> Pakke af midler til fremme af blød transport kan omfatte forbedrede forhold for cyklister og gående, såsom bedre cykelstier og gangstier, direkte cykelruter, at lukke gader af for biltrafik eller give cyklister højst prioritet, parkeringspolitik, byplanlægning med fokus på tæthed og bedre lokalisering af bolig og arbejdssted.

¹³ Partnere i forskningsprojektet er AEA (globalt bæredygtigheds forsknings- og konsulentfirma baseret i UK), CE-Delft (forsknings- og konsulentvirksomhed for miljømæssig innovation, baseret i Holland), TNO (uafhængig forskningsinstitution inden for miljø) og TEPR (Transport Environment Policy Research). Forfatterne til hovedrapporten fra juni 2010 er Ian Skinner (TEPR), Huib van Essen (CE Delft), Richard Smokers (TNO) og Nikolas Hill (AEA). Projektets hjemmeside: <http://www.eutransportghg2050.eu/cms/?flush=1>

SULTAN modelværktøj: <http://www.eutransportghg2050.eu/cms/illustrative-scenarios-tool/>

SULTAN modellen og metoden i RT2050 er nærmere beskrevet i bilag 4.

¹⁴ RT2050 dokumenterer ikke i publicerede rapporter de enkelte virkemiddelpakker som anvendes i SULTAN modelværktøjet. En række baggrundsnotater analyserer forskellige "options" og deres virkning på CO₂ udledning. Baggrundsnotaterne har forskellige temaer, fx infrastructure, modal split and decoupling options. Eksemplerne i skemaet stammer herfra og skal læses som bud på, hvad en virkemiddelpakke kan indeholde. Flere af eksemplerne kunne optræde under flere af virkemiddelpakkerne. I de enkelte notater analyseres flere "options", som ikke alle kan henføres til en af de virkemiddelpakker, der er anvendt til beregning af det fossilfri scenarie. I bilag 4 om virkemidler er der yderligere reference til de pågældende baggrundsnotater, papers, som alle er valideret på en række af ekspertworkshops.

2 Fysisk planlægning	<p><i>Improved spatial planning (road and rail)</i></p> <p>Forbedret fysisk planlægning og infrastrukturudvikling <i>udenfor</i> bymæssige områder som fremmer modale skift fra personbil og lastbil til især tog. Fx investering i infrastruktur til højhastighedstog og elektrificering af jernbanenettet, og i intermodale forbindelser for godstransport på vej.</p>
3 Optimering af kollektiv transport	<p><i>Package of mobility management measures incl. improved public transport</i></p> <p>Kollektiv transport investeringer: Effekt på CO₂ udslip opnås ved skift fra bil til kollektiv transport. Særligt ved byfortætning kan kollektiv transport konkurrere med biltransport hvis der er trængsel på vejnettet. Reduceret ventetid ved højere frekvens af kollektiv transport og reduceret rejsetid ved at investere i særlig infrastruktur for kollektiv transport kan understøtte modalt skift. Investeringer i kollektiv transport skal suppleres med fx kørselsafgifter for at få effekt.</p>
4 Forbedret co-modalitet for godstransport (samordning af mindst CO ₂ -udledende transportmidler)	<p><i>Improved freight intermodality (road, rail, inland shipping)</i></p> <p>Intelligent trafik management (ITS), udbygning af transfer terminaler (vej til bane og skib), lokaliseringspolitik for transport virksomheder og logistik.</p> <p>Distribution i byer kan fx omfatte distributionscentraler med fælles vareudkørsel, hvor fokus er på modtagerne af varer og ikke på vognmændene. Eksempler fra Holland med dokumenteret effekt.</p>
5 Hastighedsnedsættelse på motorveje	<p><i>Harmonised EU motorway speed limit (road)</i></p> <p>Sænke hastighedsgrænser på motorveje.</p>
6 Kurser i effektiv kørsel	<p><i>Fuel efficient driver training (road, rail)</i></p> <p>Kurser i energieffektiv kørsel, evt. standard ved køreprøve, vedligeholdes ved at blive understøttet af teknologi i køretøjet – evt. automatiseret.</p>
7 Ændring af regler for beskatning af firmabiler	<p><i>Company car tax reforms (cars)</i></p> <p>Firma bil beskatning ændres så omkostninger til brug af bil til privat kørsel i højere grad pålægges brugeren/ den ansatte.</p>
8 CO ₂ -afgift på fossile brændsler. Høj CO ₂ -pris 180€/ton i 2050	<p><i>CO₂ price tax (all modes, based on central/low/high CO₂ costs)</i></p>
9 Partikelforurenings- og forsyningssikkerhedsafgift	<p><i>Non-CO₂ price tax (road, internalise cost of NO_x, PM and energy security)</i></p> <p>Internaliserer omkostninger ved udslip af NO_x, PM og energiforsyningssikkerhed.</p>
10 Harmoniserede brændstofafgifter i EU	<p><i>Equivalent duty and VAT rates for fuels (all modes)</i></p> <p>Ensartede skatter og afgifter for brændstoffer. For at undgå grænsehandel er en EU-harmonisering at foretrække (vejtransport) eller nødvendig (luftfart).</p>
Supplerende virkemidler	
11: Afskaffelse af befordringsfradraget	<p>En afskaffelse af befordringsfradraget er af COWI vurderet til at potentielt kunne reducere transportarbejdet med personbil med 5,3% og togtransporten med 7,1%.</p>
12: Kørselsafgift	<p>En roadpricing på 10 øre/km vil reducere biltrafikken med ca. 3½% (ved en langsigtet elasticitet mellem brændstofpris og kørte kilometer på -0,29).</p>

Tabel 8 Forklaring af virkemidler anvendt til beregning af det fossilfri scenarie.

Kvantificering af virkemidler - effekt på transportarbejdet

Virkemiddel	Persontransport						Godstransport					Total effekt	
	Bil	Bus	Tog	Cykel/ gang	Fly	Skib	Lastbil	Varebil	Tog	Fly	Skib	Pkm.	Tkm.
1 Bedre cykel/gang faciliteter	-7,8	-2,2	-1,5	231	-	-	-	-	-	-	-	0	-
2 Fysisk planlægning	-17	31	42	51	-	-	-10	-10	-	-	-	-3,5	-2,7
3 Bedre kollektiv transport	-10,8	40	80	20	-10,5							0	-
4 Samordne godstransp	-	-	-	-	-	-	-15	-	153	-	3,7	0	-
5 Sænke hastighed	-5	-1,3	-	-	-	-	-1	-2	-	-	-	-3,2	0,5
6 CO2 venlig Køreteknik	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7 Firmabil beskatning	-1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,8	-
8 ¹⁵ CO2 kvotepris	-4,4	-5,6	-5,6	-	-16,3	-18,8	-4,9	-4,4	-4	-14,2	-15,1	-5,8	-11,8
9 Forur. afgift	-1,7	-2,2	-1	-	-	-	-2,3	-2	-1	-	-	-1,1	-0,4
10 Brændst. afgifter	-	-1,6	-0,6	-	-25,5	-19,3	-1,6	-0,6	-0,7	-25,5	-19,3	-5,8	-13,6
11 Befordr. fradrag	-5,3	-	-7,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-3,8	-
12 Kørsels afgift	-5	-5	-	-	-	-	-5	-5	-	-	-	-3,5	-1,6

Tabel 9 Effekter af virkemidler på transportarbejdet¹⁶ (pkm./tkm.) i 2050, opgjort som procentvis ændring i forhold til BAU 2050. Virkemidlernes effekt er justeret i forhold til introduktionen af nye teknologier. Eksempelvis påvirker en CO2 afgift kun andelen af transportarbejdet, som fortsat er drevet af fossile brændsler, og ikke arbejdet som udføres af el- eller bio-brændseldrevne køretøjer.

Virkemidlerne 1: Forbedrede faciliteter for cyklister og gående, 2: Fysisk planlægning og 3: Optimering af kollektiv transport giver en særlig høj effekt for persontransportarbejdet. Det fremgår af Tabel 9, oversigten over talværdier for effekterne. Virkemiddel 12, kørselsafgifter, har også en vis effekt, både for person- og godstransport. Kørselsafgifter spiller en særlig rolle for at vise den geografiske variation i transportarbejdet med personbiler, som indgår i det fossilfri scenarie (se afsnit 4.7). Der er ikke taget højde for syner-

¹⁵ 8: CO2 afgift – høj CO2 pris. Effekterne er kun gældende for den andel af transporten som stadig er drevet af fossile brændsler og størrelsen af disse er derfor mindre end i SULTAN, hvor der sammenlignes med BAU 2050. Der er antaget et 4/5 forhold mellem priselasticiteterne for henholdsvis personbil og kollektiv transport. Dette betyder at hvis benzinprisen stiger med 1 procent så falder transportarbejdet med bil med 0,04 % alt imens den kollektive transport stiger med 0,05 %.

¹⁶ Effekterne er fundet ved at slå alle virkemidler fra i Teknologirådets modelværktøj undtaget det aktuelle virkemiddel.

gieffekter mellem virkemidlerne. Effekterne er således summeret og kan derfor ses som værende den maksimale effekt, der kan opnås med virkemidlerne.

For godstransporten er det især virkemiddel 4, forbedret co-modalitet, der giver en effekt på transportarbejdet, især for godstransport med tog. Fysisk planlægning har en vis effekt for godstransport med lastbil og varebil.

Endelig har kørselsafgifter en vis effekt for både person- og godstransport med henholdsvis bil og lastbil.

Periodisering af virkemidler

Effekten af de forskellige virkemidler er implementeret i det fossilfri scenarie i forskelligt tempo. Frem mod 2030 er det valgt at lade de økonomiske virkemidler bidrage til den største forskel mellem teknologi-scenariet og det fossilfri scenarie, mens effekten af de virkemidler, som kræver større infrastrukturinvesteringer, lokalisingsmæssige ændringer eller teknologisk udvikling af køretøjer og brændsler med videre, er vurderet at være størst fra 2030-2050. Valget er truffet ud fra den antagelse, at økonomiske virkemidler kan implementeres og virke umiddelbart efter, at der er truffet beslutning om at anvende dem, mens infrastrukturinvesteringer og fysisk planlægning kræver længere tid, både at udføre og at se en effekt af.

Da personbiler i 2050 vil være eldrevne kan man diskutere, om det vil være nødvendigt fysisk at bruge planlægningvirkemidlet, eftersom man, indenfor energimålsætningen for det fossilfri scenarie, ville kunne udvide VE-elproduktionen og dermed give plads for øget trafik med elbiler. På den anden side vil flere biler potentielt øge trængselsproblemer, hvilket vil give pres på infrastrukturer og dermed på økonomien. Der kunne være valgt en anden periodisering, og det endelige resultat ville så afvige en smule, men ikke afgørende.

Virkemiddel	Fordeling af effekt		
	2020	2030	2050
1 Bedre cykel/gang faciliteter	25%	25%	50%
2 Fysisk planlægning	25%	25%	50%
3 Bedre kollektiv transport	25%	25%	50%
4 Samordne godstransport	25%	25%	50%
5 Sænke hastighed	0%	0%	100%
6 CO2 venlig Køreteknik	50%	50%	0%
7 Firmabil beskatning	50%	50%	0%
8 CO2 kvotepris	33%	33%	33%
9 Forurenings afgift	33%	33%	33%
10 Harmoniserede brændstofafgifter	33%	33%	33%
11 Ændret befordrings fradrag	33%	33%	33%
12 Kørselsafgifter	33%	33%	33%

Tabel 10 Periodisering af virkemidlernes effekt

Periodiseringen fremgår også af bilag 4, Tabel 15.

Følsomhedsanalyser af udvalgte virkemidler på persontransport

Det er undersøgt, hvilken betydning enkelte virkemidler har ved at fjerne dem et ad gangen. Det drejer sig om: Fysisk planlægning, optimering af den kollektive transport, hastighedsnedsættelse på motorveje, CO₂-afgift, samt afskaffelse af befordringsfradraget. Det er især effekten på personbiltransport, som disse virkemidler tilsigter, der er i fokus og dermed også, hvad der kan opnås med modale skift til andre transportmidler. Følsomhedsanalysernes data fremgår af bilag 4, side 29.

Følsomhedsanalysernes resultater

Personbil: I det fossile frie scenarie falder transportarbejdet i personbil fra indeks 1 til 0,79, når alle 12 virkemidler er implementeret. Ved at undlade virkemidlet fysisk planlægning viser det sig, at dette virkemiddel har den største enkeltstående effekt på transportarbejde i personbil. Uden dette virkemiddel vokser transportarbejdet i personbil. Indekset stiger til 1,11 i 2050. Følsomhedsanalyserne på de andre virkemidler såsom optimering af den kollektive transport, hastighedsnedsættelse på motorveje, CO₂-afgift (8 – den høje), samt afskaffe befordringsfradraget viser, at fysisk planlægning er det mest effektive virkemiddel i forhold til at reducere transportarbejdet i personbil. De øvrige virkemidler har også en effekt, især optimering af den kollektive transport. De virkemidler der retter sig direkte mod personbilen som transportmiddel, har en lavere og nogenlunde ens effekt (0,87-0,89).

Bus/tog: Transportarbejdet med kollektive transportmidler påvirkes nogenlunde ens af virkemidlerne. Det er især virkemidlet optimering af den kollektive transport, der sikrer et modalt skift til tog og bus. Fysisk planlægning har også en vis effekt, mens hastighedsnedsættelse på motorveje og høj CO₂ afgift ingen større effekt har på skiftet til tog og bus. Hvis befordringsfradraget ikke fjernes, kan det yderligere styrke den kollektive transport med tog.

Cykel/gang: Det er især virkemidlerne fysisk planlægning og optimering af den kollektive transport, der befordrer en vækst i transportarbejdet for cykel og gang. Hastighedsnedsættelse, CO₂ afgift og befordringsfradrag har ingen effekt på de bløde transportformer.

Fly/skib: Uden optimering af den kollektive transport vil transportarbejdet med fly vokse, og en CO₂ afgift vil påvirke både persontransport med fly og skib. Uden dette virkemiddel vokser transportarbejdet med begge transportmidler. Transport med fly og skib er ikke påvirket af virkemidlet fysisk planlægning. Det samme gælder for befordringsfradrag og hastighedsnedsættelse.

Overordnet viser følsomhedsanalyserne, at der vil være mindre variationer i resultaterne for det fossile frie scenarie, hvis nogle virkemidler ikke tages med. Bortset fra virkemidlet fysisk planlægning er disse variationer dog ubetydelige. Fysisk planlægning har en stærk betydning for, at persontransportarbejdet med bil falder i det fossile frie scenarie.

Følsomhedsanalyserne viser også et samspil mellem virkemidlerne. Fysisk planlægning har igen en vis betydning i samspil med andre virkemidler. Dette er en indikation om, at det er vigtigt at få bragt dette virkemiddel i spil.

3.3 Målsætninger

Beregningen af det fossilfri scenarie tager udgangspunkt i 2 målsætninger:

1. I 2050 skal danskernes transportforbrug være dækket 100 % af vedvarende energi. Der anvendes ingen fossile brændsler, og derfor er transportens CO2 udslip reduceret til 0.
2. Biomasseforbruget skal holdes inden for et loft på 100 PJ.

Den første målsætning svarer til det mål som Klimakommissionen satte for deres arbejde, at omstille den danske energiforsyning til 100 % VE i 2050. Det samme mål, at Danmark skal være helt uafhængig af fossile brændsler i 2050, fremgår også af regeringsgrundlaget fra oktober 2011. Dermed vil Danmark yde et væsentligt bidrag til at nå EU's fælles mål om en 80-95 % reduktion af det samlede CO2 udslip i 2050 i forhold til 1990. Et mål som af FN's klimapanel har vurderet som den reduktion, der er nødvendig for at holde den globale opvarmning under 2 grader.

Klimakommissionen har defineret uafhængighed af fossile brændsler således:

Der anvendes/forbruges ikke fossil energi i Danmark, og indenlandsk produktion af el baseret på vedvarende energi skal i gennemsnit på årsbasis mindst svare til det danske forbrug.

Klimakommissionens definition af uafhængighed udelukker (derimod), at man kan fortsætte med at forbruge olie i transportsektoren og kompensere herfor med en merproduktion og eksport af vedvarende energi.

Loftet på forbruget af biomasse på 100 PJ er beregnet af Klimakommissionen. Det er transportens andel af den mængde biomasse, der er potentiale for at producere i Danmark med en uændret fødevarerproduktion.

Danskernes mobilitet

Mobilitet har betydning for den enkelte borgers hverdag, for et velfungerende arbejdsmarked og for virksomheders produktivitet og konkurrenceevne. Mobilitet er knyttet til økonomisk aktivitet for både gods- og persontransport, og til oplevelsen af frihed og velfærd i forbindelse med persontransport.

Det har været styregruppens ønske, at omstilling af danskernes transport til VE, så danskernes mobilitet reduceres mindst muligt, og på måder der gør mindst muligt ondt på danskerne.

Samfundsøkonomiske konsekvenser

Hvis omstilling til vedvarende energi skal ske, uden at det belaster samfundsøkonomien, skal udgifterne til opsætning af vindmøller, udskiftning af køretøjer og investeringer i infrastruktur svare til de besparelser, som opnås ved at udfase de fossile brændsler. Klimakommissionen var opmærksom på den udfordring, og satte som betingelse for deres arbejde, at man skulle vælge de billigst mulige løsninger. Det økonomiske resultat af Klimakommissionens scenarier blev, at der ville være marginale meromkostninger, som især er knyttet til transportsektoren, i en størrelsesorden svarende til ½ % af BNP. At transportsektoren i Klimakommissionens beregninger vil være årsag til de fleste ekstraomkostninger skyldes, at der ikke antages at ske en opbremsning i væksten i transportarbejdet.

I beregningen af de tre scenarier i dette projekt indgår beregninger af årlige energiudgifter og omkostninger til transporttjenester. Disse dækker imidlertid ikke infrastrukturinvesteringer. Det har ikke været muligt at foretage dækkende samfundsøkonomiske beregninger. Der er foretaget en skønsmæssig vurde-

ring af behov for de infrastrukturinvesteringer, som er nødvendige for at gennemføre det fossile scenarie. Dette fremgår af kapitel 5.

3.4 Afgrænsning af det danske transportsystem

Scenarieafgrænsningen dækker al transport som foregår i Danmark, international godstransport til og fra Danmark, samt danskeres persontransport med fly og skib til og fra Danmark. Internationalt gods omfatter halvdelen af de varer, der forbruges i DK eller produceres i DK (import / eksport). Det danske transportsystem afgrænset således, vil dække den transport som danskernes økonomiske aktivitet afstedkommer.

Konkret afgrænsning:

Danskernes transport inkluderer foruden al national transport følgende:

- International jernbane: gods og passager
- International lastbil: gods
- International fly: gods og passager transport
- International skib: gods og passager transport

Der er medregnet halvdelen af transportarbejdet på ture som starter og slutter i Danmark. Transitttransport er ikke regnet med.

3.5 Rammebetingelser

Rammebetingelserne for beregning af scenarierne svarer til det, der gælder for Klimakommissionens ambitiøse fremtidsforløb (A). Energipriserne som er anvendt, er inklusive CO₂ omkostninger. Prisforudsætningen for Klimakommissionens ambitiøse fremtidsforløb er at 2-graders målet overholdes (den globale udledning af CO₂ reduceres så meget, at gennemsnitstemperaturen stiger højst 2 grader). Det medfører høje priser på CO₂ kvoter, og til gengæld lidt lavere priser for fossile brændsler, på grund af reduceret efterspørgsel.

Økonomisk vækst: 2008-2020: 1,4 %, 2020-2050: 1,8 %

Diskonteringsrente: 5 %

Prisforudsætninger 2050: Brændsels- og CO₂-kvotepriserne er helt centrale for de analyserede meromkostninger. Priser for 2050 nedenfor er antaget for Klimakommissionens forløb med ambitiøse rammebetingelser og ses både som de rene brændselspriser, og som prisen inkl. omkostninger relateret til CO₂-indholdet¹⁷. Ved siden af er indsat cirka priser for 2010 for gasolie, naturgas og CO₂.

¹⁷ Klimakommissionen, dokumentationsdelen til hovedrapport, september 2010

	2050 priser		2010 priser
	Uden CO2	Med CO2	
Gasolie (kr./GJ)	110	195	80 ¹⁸
Naturgas (kr./GJ)	61	127	45 ¹⁹
Kul (kr./GJ)	13	123	
Bioenergi (træflis) (kr./GJ)	123	123	
CO2 kr./ton	1150		150 ²⁰

Tabel 11 Prisforudsætninger med og uden CO2-omkostninger, 2050

3.6 Modelværktøjet

Beregningerne er udført i en udbygget udgave af modelværktøjet STREAM.²¹

STREAM blev udviklet i Teknologirådets projekt "Fremtidens danske energisystem"²², med det formål at kunne foretage relativt præcise, hurtige beregninger af store omlægninger i det danske energiforbrug og -produktion. Modellen tillader tilpasning af energisystemet til et givet forbrug, og giver beregning af CO2-udledning, energiøkonomiske overslag (ændring i samfundsøkonomien vedr. brændsler, investeringer og vedligeholdelse i energisystemet), følsomhedsberegninger ift. energipris og CO2-kvoteprijs, samt timetest af energisystemets robusthed på baggrund af historiske vejrdato.

Transportens andel af energiforbruget var i STREAM kun repræsenteret som et forventet forbrug af et antal energiformer, og gav derfor ikke mulighed for at arbejde med ændringer i specifikke dele af transportarbejdet. Der blev derfor, til dette projekt, udviklet et transportmodul²³ til STREAM. Dette modul tillader, at transporten opdeles i regionale/geografiske systemer, for eksempel storby, provinsbyområder, landområder, og at der gennem transportforbruget kan ændres på anvendelsen af specifikke transportteknologier indenfor forskellige segmenter af transporten, for eksempel på fordeling af transport mellem, og udvikling i effektivitet i el- og dieseldreven persontransport med tog.

Transportmodulet skal fødes med data vedrørende størrelsen af forskellige typer af transportforbrug, deres fordeling på forskellige transportformer, transportformernes fordeling på transportteknologier, teknologiernes brug af energiformer, samt teknologiernes energieffektivitet. Derfra beregnes energiforbruget fordelt på forskellige energiformer, for eksempel fossilt diesel, methanol og mv., og ved hjælp af resten af STREAM justeres energisystemet, så det er i stand til at levere den nødvendige energi. Dette

¹⁸ <http://www.bloomberg.com/energy/>

¹⁹ <http://nordpoolgas.com/market-data?type=1&unit=2&lang=da>

²⁰ <http://www.co2prices.eu/>

²¹ STREAM blev udviklet i et samarbejde mellem Teknologirådet, det daværende Risø's afdeling for systemanalyse (hører i dag under DTU Institut for Management), Energinet.dk, EA Energianalyse og ELSAM. STREAMs resultater er blevet sammenlignet med andre, mere specialiserede, energimodeller og har vist sig at give resultater, der er rimeligt præcise. Styrken ved STREAM er, at den er hurtig at arbejde med, relativt fleksibel, kan håndtere store ændringer i systemerne, og at den som regnearks-model er udgivet til offentlig anvendelse, så resultaterne kan efterprøves af andre. Den version af STREAM, som er anvendt i projektet, er yderligere blevet udviklet af Klimakommissionen, som benyttede STREAM til beregning af deres scenarier for et 100% vedvarende energisystem.

²² Det fremtidige danske energisystem – teknologiscenarier. Teknologirådets rapporter 2007/2. Forfattere: Anders Kofoed-Wiuff og Jesper Werling, EA Energianalyse, Peter Markussen, DONG Energy, Mette Behrmann og Jens Pedersen, Energinet.dk, samt Kenneth Karlsson, DTU Institut for Management.

²³ Transportmodulet til Teknologirådets scenarier er udarbejdet af Per Kaspersen, finansieret af Teknologirådet, CEESA projektet og Risø's afd. for Systemanalyse. Transportmodulet bygger på en tidligere version af en analysemodel, Transport PLAN, der er udviklet i CEESA (Coherent Energy and Environmental System Analysis), af Brian Vad Mathiesen, Aalborg Universitet. CEESA's data for transportteknologier og – effektivisering indgår delvist i modellens datagrundlag.

resulterer endelig i en beregning af samlet CO₂-udledning og økonomiske overslag. Transportmodulet leverer desuden en række tabeller og oversigter over transportarbejdets fordeling mv.

Den kombination af beregninger på transporten og energisystemet, som denne udgave af STREAM leverer, har nogle fordele, hvoraf følgende skal nævnes:

- Transportsystemets energiforbrug kan beregnes som en integreret del af det øvrige energiforbrug. Det betyder, at det samlede forbrug af for eksempel biomasse kan afstemmes i forhold til de givne ressourcer.
- Det er muligt at beregne transportens energiøkonomi som en integreret del af energisystemets økonomi. Det giver muligheder for at optimere transportens udvikling ud fra evt. økonomiske målsætninger.
- Det samme gælder CO₂-målsætningerne – det er muligt at optimere transport og energisystem i forhold til givne klimamålsætninger.
- Det er muligt at undersøge effekten af virkemidler, som påvirker transportarbejdet og dermed transportens energiforbrug, ved at slå virkemidler til/fra i transportmodulet.
- Nemt anvendeligt og illustrativt værktøj som gør det muligt at foretage hurtige scenarieberegninger, for eksempel i forbindelse med workshops og møder.

4. De tre scenarier

4.1 Reference scenarie

Referencescenariet er en fremskrivning af transportefterspørgsel, energiforbrug og CO₂-udledning i den danske transport for perioden 2010-2050

Forudsætninger

Referencescenariet tager udgangspunkt i Infrastrukturkommissionens fremskrivning af transportefterspørgslen frem til 2030, samt i projektioner, der forekommer i rapporten EU Energy Trends to 2030. For perioden 2030 til 2050 er der udarbejdet en særskilt fremskrivning baseret på den antagelse, at der sker en vis mætning og transportefterspørgslen derfor ikke stiger i samme takt som i de foregående årtier.

Samlet resulterer fremskrivningen for perioden 2010-2050 i årlige vækstrater på:

1,5 % for passagertransport

1,7 % for godstransport

Teknologier/energieffektivisering

Der er for perioden 2010-2050, antaget følgende energieffektiviseringer for transportmidler med forbrændingsmotorer og for tog inkl. elektriske togsæt:

Personbil: 31,1 %

Bus: 19,3 %

Lastbil: 35,4 %

Varebil: 31,1 %

Fly gods/person: 50,2 %

Tog gods/person: 18,1 %

Skib gods/person: 35,4 %

Transportarbejde

Persontransport stiger fra cirka 90 mia. personkilometer til cirka 160 mia. personkilometer, svarende til 78 % vækst (tabel 2, bilag 1). Størst markedsandel: Personbil, efterfulgt af fly, bus, tog, cykel/gang, skib (tabel 4, bilag 1).

Godstransport stiger fra knap 80.000 tonkilometer til knap 150.000 tonkilometer, en vækst på mere end 95 % (tabel 6, bilag 1). Størst markedsandel: Skib, efterfulgt af lastbil, varebil, fly og tog (tabel 8, bilag 1).

Trafikarbejde

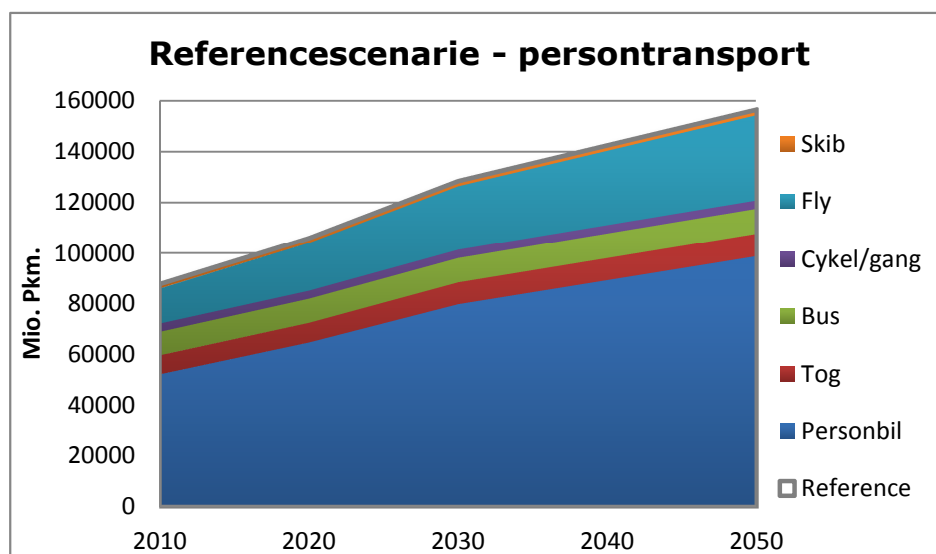
Trafikarbejdet for persontransport stiger med 87 %, hvilket er en del mere end transportarbejdet. Når trafikarbejdet stiger mest, hænger det sammen med, at væksten for de forskellige transportformer er forskellig. Trafikarbejdet stiger især for fly og personbil, mens det falder relativt for de kollektive transportmidler. For godstransport stiger trafikarbejdet med 94 %, omtrent det samme som for godstransportarbejdet. Her ses en større stigning i trafikarbejdet for international skibstrafik end for lastbil.

Figur 15 og 16 viser resultater for referencescenariets transportarbejde, og Figur 17 og Figur 18 for trafikarbejde. Disse resultater gælder også for teknologiscenariet

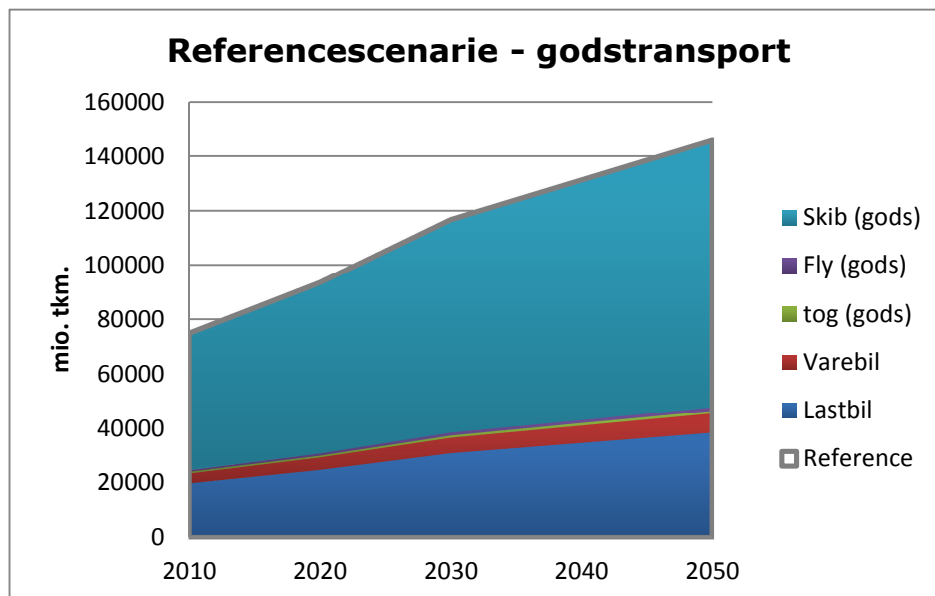
Energiforbrug og CO2 udledning

Energiforbruget er beregnet til 279 PJ i 2050 (VE-andel 5 %). CO2 udledningen er beregnet til at vokse med 27 % mellem 2010 og 2050, hvorved udledningen vil være steget fra cirka 17 mio. ton til knap 22 mio. ton.

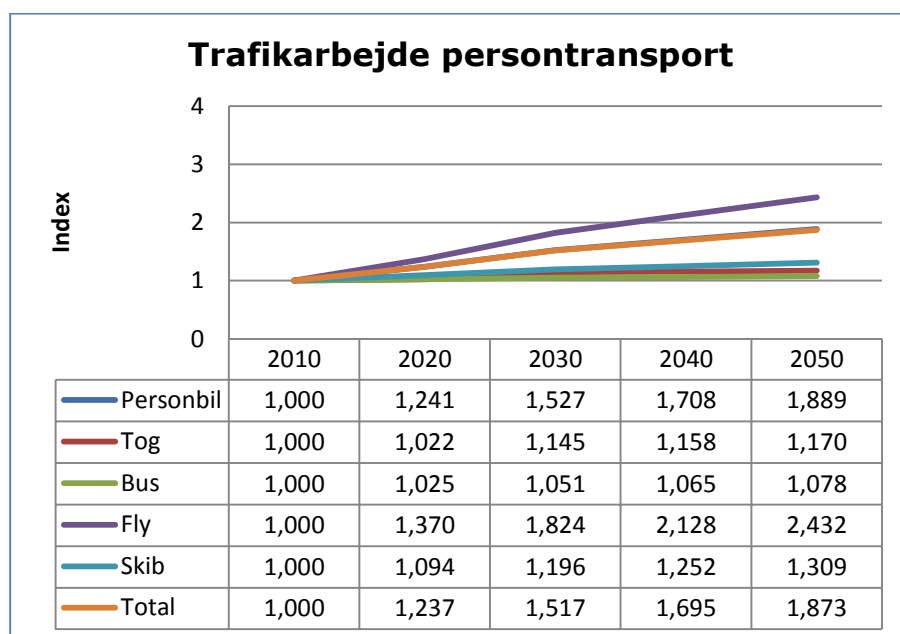
Fra 1990 til 2010 steg CO2 udslippet med 23 %. Den store stigning i de to foregående årtier bremses altså noget i de næste fire årtier, hvilket kan tilskrives den energieffektivisering, som forudsat i referencescenariet. Endvidere er det forudsat, at alternative brændsler erstatter 10 % af de fossile brændsler i referencescenariets energiforbrug.



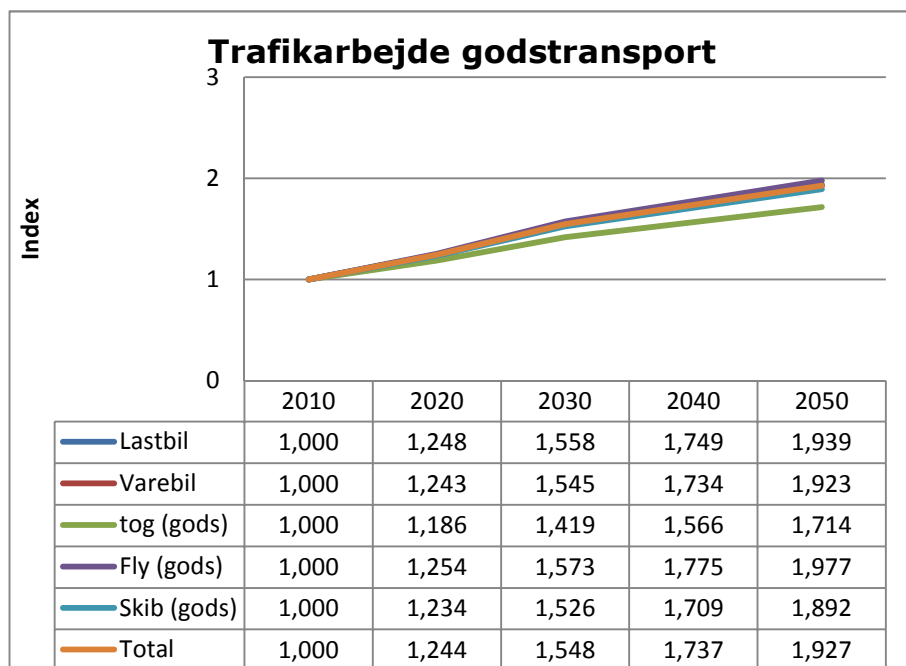
Figur 15 Persontransportarbejde 2010-2050 – reference scenarie



Figur 16 Godstransportarbejde 2010-2050 – reference scenarie



Figur 17 Trafikarbejde persontransport 2010-2050 reference scenarie



Figur 18 Trafikarbejde godstransport 2010-2050 reference scenarie

4.2 Teknologiscenarie

Forudsætninger

Teknologiscenariet bygger på de samme forudsætninger som referencescenariet med hensyn til forventninger til årlig vækst i transportarbejde og trafikarbejde. Kapacitetsudnyttelsen er den samme, og de enkelte transportsegmenter har de samme markedsandele som i referencen. Til forskel fra referencescenariet er der introduceret en bred vifte af transportmiddelspecifikke drivmidler gennem hele forløbet 2010-2050. Andelen af drivmidler og teknologier er baseret på de enkelte transportmidlers levetid, drivmidlernes egenskaber og teknologiernes modenhed i dag og i fremtiden. Der er udelukkende implementeret teknologier og brændstoffer, som er kommercielle i dag, eller som ventes at blive det i nær fremtid. Nye teknologier og brændstoffer indføres gradvis i takt med udskiftning af køretøjer. Årsagen er, at der skal udvikles specialdesignede køretøjer, når koncentrationen af biobrændsler stiger. Derfor spiller køretøjernes levetid en væsentlig rolle:

For al vejtransport er det antaget, at der foregår 2 fuldstændige skift af materiellet i perioden 2010-2050. For jernbane, søtransport og flytransport foregår der 1,5 skift. Det svarer til en levetid på 15-20 år for biler, varebiler, busser og lastbiler, og en levetid på 25-35 år for tog, færger, containerskibe og fly.

Det er tilstræbt at knytte de forskellige biobrændsler til de transportformer, som kan anvende og udnytte dem effektivt. Det er antaget, at de forskellige typer BTL (biomass-to-liquid) har omtrent samme virkningsgrader som benzin/diesel. I teknologiscenariet dækker BTL over følgende biomassebaserede brændsler:

- Tunge køretøjer og fly: HVO, DME
- Personbiler og varebiler < 2 ton: 2.g bioethanol, 2.g biodiesel, syntetisk biodiesel
- Varebiler 2-6 ton: 2. g biodiesel, 2. g bioethanol, syntetisk biodiesel, DME

Målsætningen om at holde biomasseforbruget under 100 PJ i 2050 gælder.

Teknologier/energieffektivisering

Teknologierne omfatter batteridrevne køretøjer, hybridkøretøjer (batteri kombineret med en brændsels-celle og batteri kombineret med mindre forbrændingsmotor) og forbrændingsmotorer med højere virkningsgrader. Drivmidlerne omfatter el- og hybridløsninger til lette køretøjer og jernbane samt hybridløsninger, biobrændsler og syntetiske brændsler til tungere køretøjer og fly (se Figur 25-27 og bilag 6 i bilag om dokumentation af teknologiscenarie: Transportbrændselsandele for hvert transportmiddel i 2020, 2030 og 2050). 65 % af alle biler som kører på gaderne i 2050 er el- eller hybridbiler i teknologiscenariet.

Virkemidler

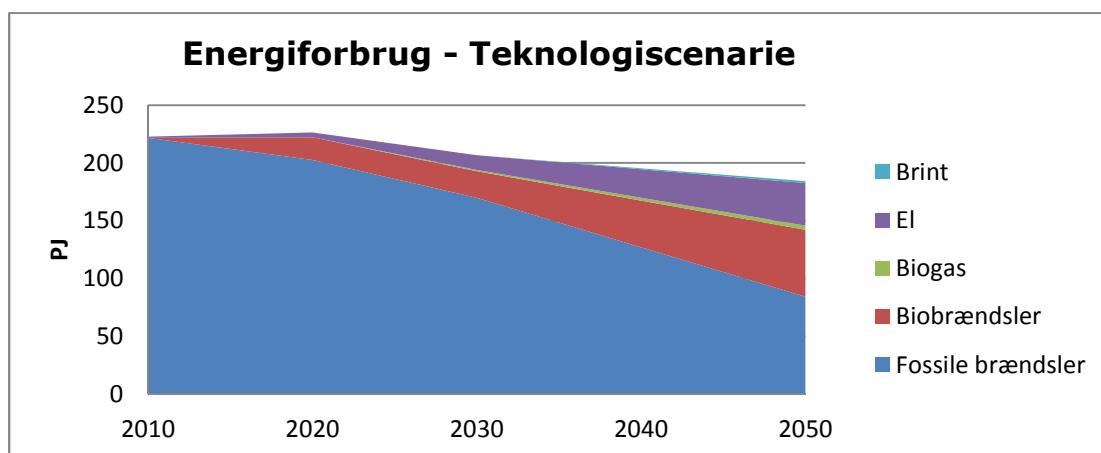
Afgiftsfritagelse for elbiler og progressiv registreringsafgift afhængig af energieffektivitet for køretøjer. Der er ikke antaget implementering af stærke virkemidler med henblik på at reducere køretøjernes levetid/opnå højere udskiftningshastighed, da det ikke formodes at have en positiv CO₂ effekt i et livscyklusperspektiv.

Transportarbejde og trafikarbejde som i referencescenariet.

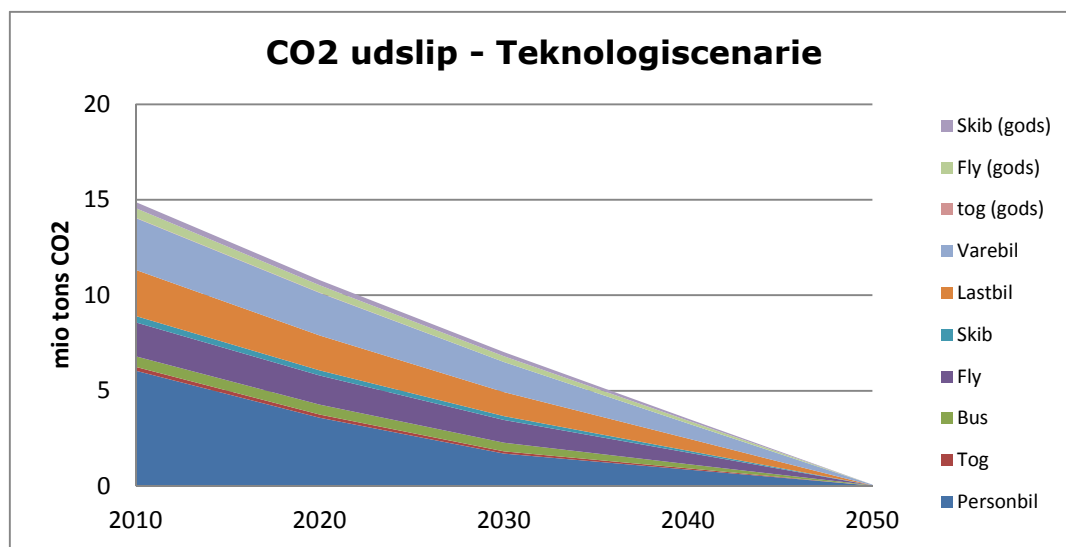
Energiforbrug og CO₂ udledning

Energiforbruget er beregnet til 176 PJ. CO₂ udledningen er beregnet til at blive reduceret cirka 60 % mellem 2010 og 2050, hvor udledningen vil være på omkring 6 mio. ton/år i 2050.

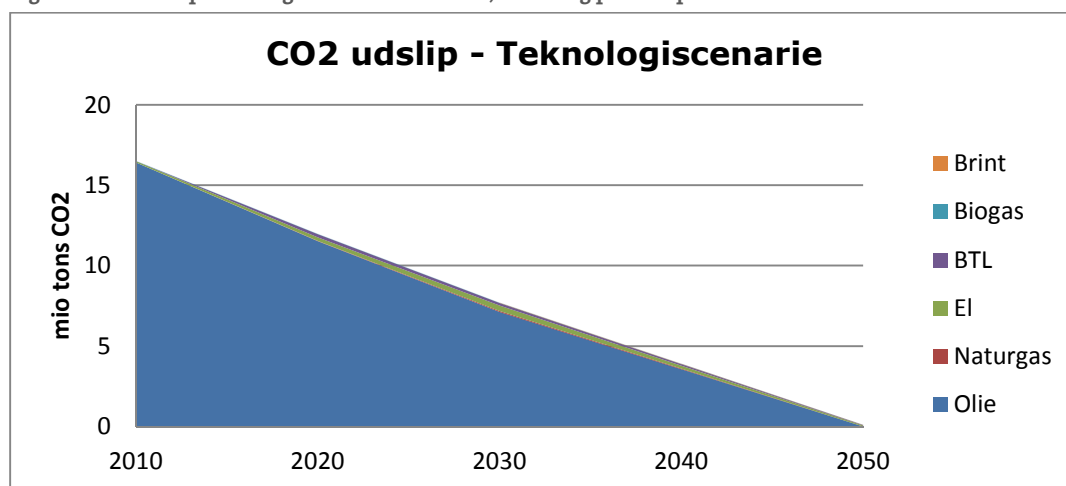
Energiforbruget fremgår af Figur 19. Figur 20 viser CO₂-udledningen fordelt på køretøjer og Figur 20 viser fordelingen på brændsler. Figur 22 og Figur 23 viser CO₂ udledning fordelt på persontransport og gods-transport. I teknologiscenariet er det især fly, lastbiler, personbiler og varebiler, der udgør de store "klimasyndere".



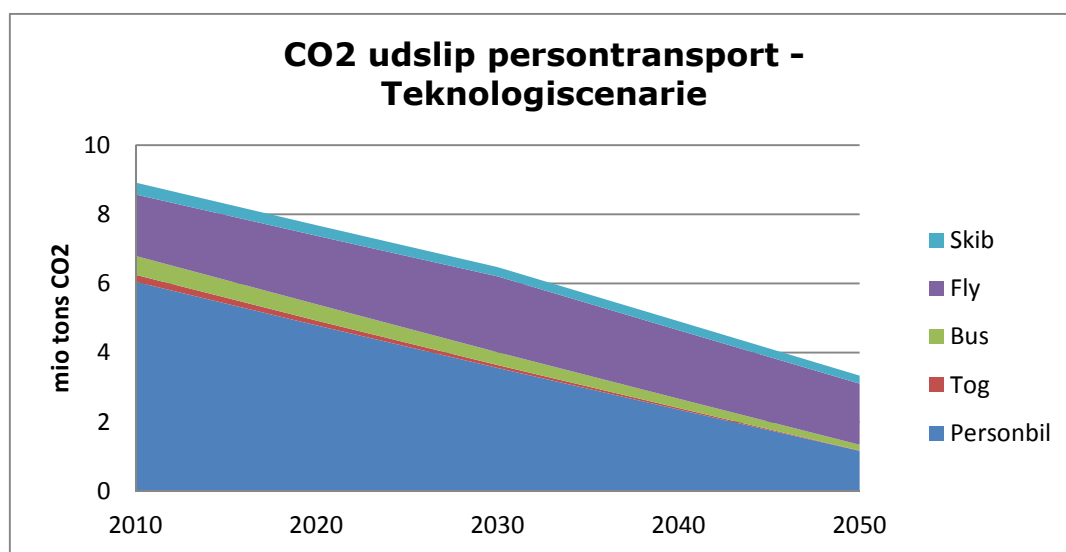
Figur 19 Transportdrivmidler 2010-2050, Teknologiscenariet



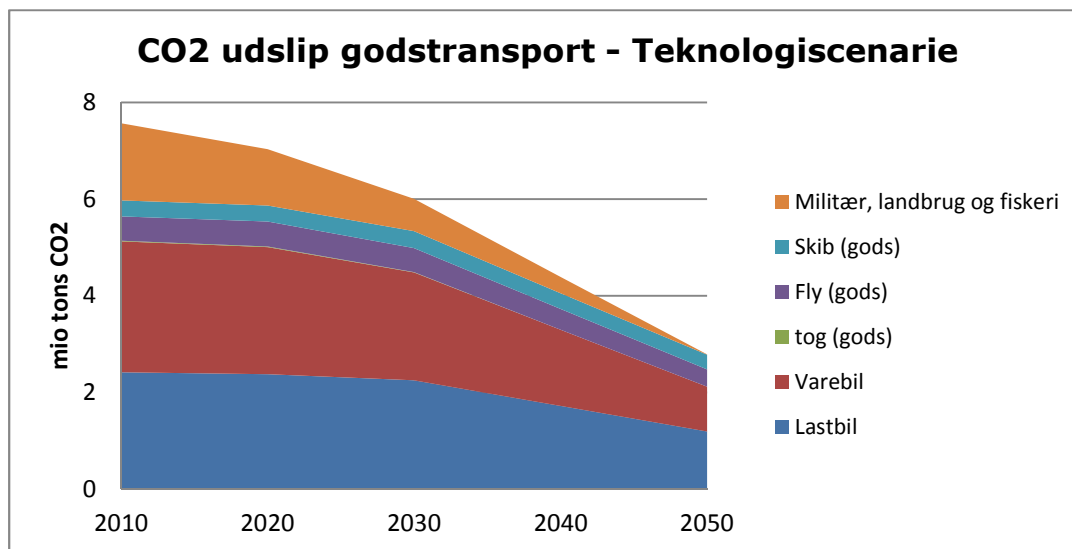
Figur 20 CO2 udslip teknologiscenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler



Figur 21 CO2 udslip teknologiscenarie 2010-2050, fordeling på brændsler



Figur 22 CO2 udslip teknologiscenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler til persontransport



Figur 23 CO2 udslip teknologiscenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler til godstransport

4.3 Fossilfri scenarie

Forudsætninger

Det fossilfri scenarie tager udgangspunkt i samme vækst for transportarbejdet som i reference- og teknologiscenariet og indeholder de samme VE-baserede drivmidler og teknologier som i teknologiscenariet. Der forudsættes ikke samme transportmønster som i referencescenariet, hvilket vil sige, at fordelingen mellem de enkelte transportsegmenter er ændret.

For at holde transportens forbrug af energi på et niveau, der kan passes ind i det energimæssige råderum i et 100 % vedvarende energisystem, er der i det fossilfri scenarie beregnet effekten af et modalt skift fra personbil til andre mere energieffektive eller klimavenlige transportformer.

Det er antaget, at potentialet for modale skift er forskelligt for persontransportsegmenter i forskellige områder af Danmark, afhængigt af lokale forhold såsom udbud af kollektiv transport og pendlerafstande mv. Der skelnes mellem Hovedstadsområdet, Østjylland og Øvrige Danmark (se kort i afsnit 4.7)

Anvendelse af økonomiske, planlægnings- og reguleringsmæssige virkemidler er en forudsætning for at nå målene:

100 % VE

100 PJ biomasse som loft.

Teknologier

Teknologierne er de samme som i teknologiscenariet. Eneste forskel er, at andelen af el- og hybridbiler er sat til 90 % i 2050. Resten af transporten drives af biobrændsler og biogas i det fossilfri scenarie, som skal være 100 % fossilfrit. Halvdelen af de eldrevne personbiler er elbiler, resten er plug-in-hybrid biler og brint-brændselscelle drevne biler. Elcykler og andre eldrevne to-hjulskøretøjer må også forventes at være udbredte teknologier, men deres energiforbrug vil være så lavt, at det ikke er medregnet.

Teknologisk må hybridkøretøjerne anses for en overgangsløsning i den periode hvor elbilers rækkevidde ikke er tilstrækkelig stor. Det er vigtigt at få energiforbruget så langt ned som muligt frem til 2030, så den VE der er til rådighed kan dække energiforbruget.

Virkemidler

Det er valgt at anvende samtlige 12 økonomiske, regulerings- og planlægningsmæssige virkemidler (beskrevet i afsnit 3.2). Det er nødvendigt, for at nå de mål der er sat for energiforbrug og CO₂ reduktion. Faldet i persontransport med personbil opnås ved at implementere en række virkemidler. Dels virkemidler som beforder et modalt skift (1-3), det vil sige forbedrer faciliteter for cykel og gang, optimerer den kollektive transport samt ved fysisk planlægning, og dels virkemidler som gør det dyrere at anvende personbil, det vil sige kørselsafgifter og afskaffelse af befordringsfradraget (11-12).

Transportarbejde

Transportarbejdet for persontransport stiger med 23 % i perioden 2010-2050. Det stiger især for transportmidlerne tog og cykel/gang, mens transportarbejdet for personbil falder med 21 % og trafikarbejdet med 36 % fra 2010 til 2050 (Tabel 1, bilag 1).

Godsttransportarbejdet stiger med 40 % og her stiger det især for tog (437 %), varebil og skib (tabel 5). Der sker altså en reduktion i væksten af transportarbejdet i forhold til referencen. Personbilen har den største markedsandel, 40 % i 2050, et fald ift. 2010. Markedsandelen for tog stiger til 20 %, for bus til 15 % og for cykel/gang til over 10 %.

Skibstransport har den største markedsandel inden for godstransport, nemlig 69,3 % i 2050, svagt stigende fra 2010 til 2050. Næststørste markedsandel har lastbiltransport med 22,5 %, svagt faldende i perioden og især efter 2030. Godstogs markedsandel har den største relative stigning, fra 0,8 % til 2,3 %, i hele perioden (tabel 7, bilag 1).

Trafikarbejde

Det samlede trafikarbejde falder i det fossile frie scenarie fra godt 40.000 mio. kilometer i 2010 til godt 30.000 mio. kilometer i 2050. Trafikarbejdet for persontransport falder med 34 % og trafikarbejdet for godstransport stiger ganske lidt (0,6 %), svarende til cirka 600 mio. tonkilometer i hele perioden. En effekt af virkemidlerne er at kapacitetsudnyttelsen i transportmidlerne stiger. Derfor kan transportarbejdet stige, mens trafikarbejdet falder.

Figur 24 og Figur 25 viser resultater for transportarbejde for person- og godstransport og Figur 26 viser trafikarbejdet.

Energiforbrug og CO₂ udledning

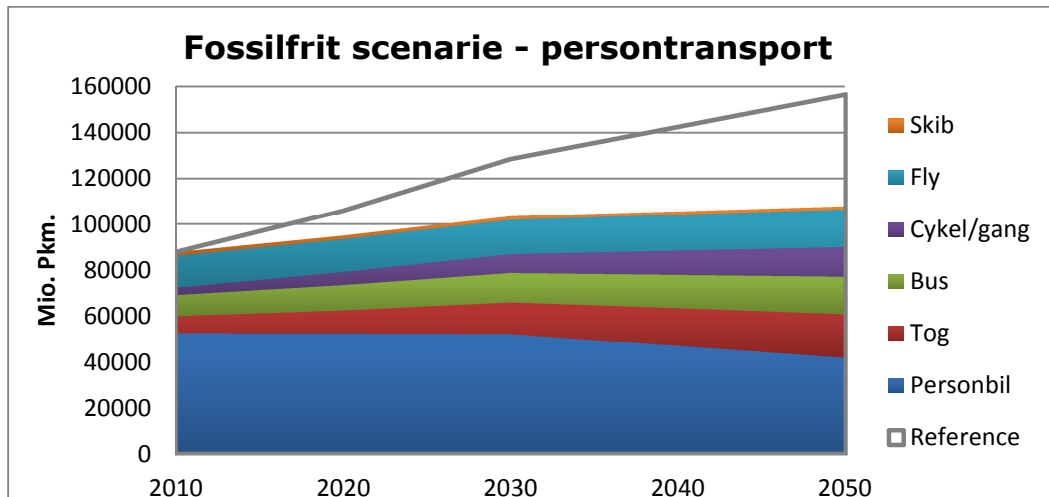
Energiforbruget falder til 79 PJ. Det er et resultat af implementeringen af 12 virkemidler, som fremmer modale skift til mere energieffektive transportmidler, forbedrer kapacitetsudnyttelsen og sparer unyttige ture samt implementering af VE-baserede drivmidler og mere energieffektive transportmidler.

CO₂ udledningen reduceres med mere end 99 % i 2050²⁴, svarende til cirka 0,1 mio. tons CO₂. At CO₂ udslippet ikke lander på 0, når de fossile brændsler er ude skyldes, at der stadig er et CO₂ udslip knyttet til

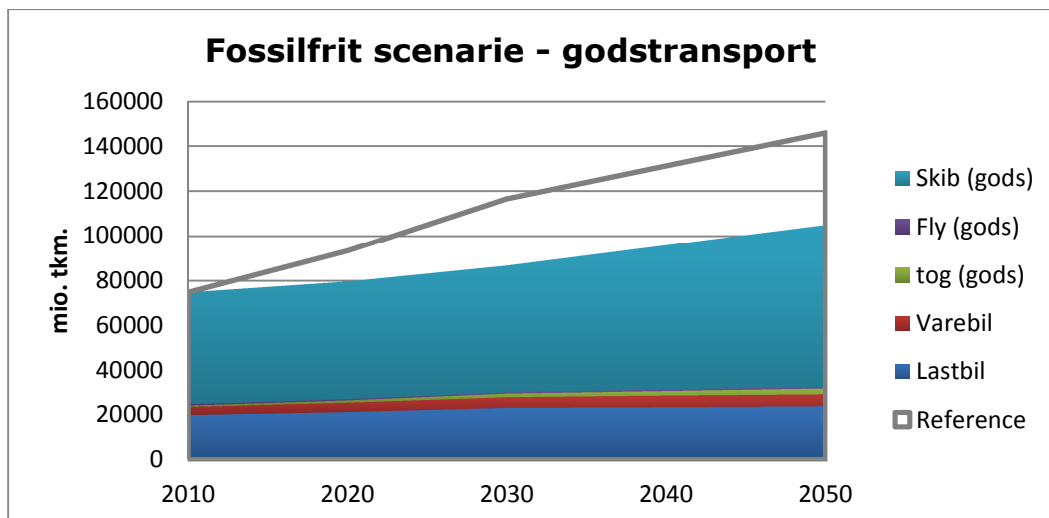
²⁴ Når udslip på 2 % optræder her skyldes det at CO₂ udslippet er beregnet ud fra STREAM, som regner på hele energisystemet.

produktionen af biobrændsler ”og el”. Men der er altså ikke knyttet noget CO2 udslip til transporten af gods eller mennesker.

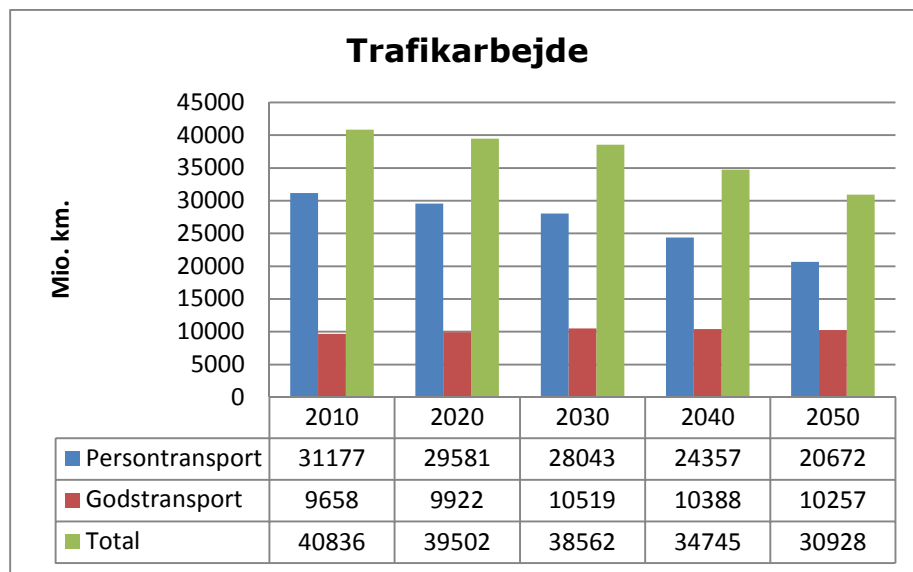
Figur 27 viser energiforbruget og figur 28 CO2-udledning fra det fossilfri scenarie.



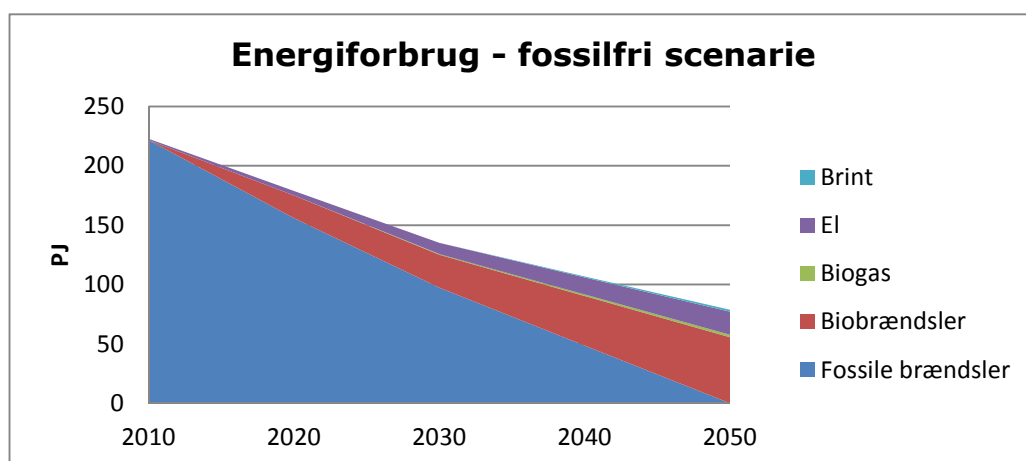
Figur 24 Persontransportarbejde 2010 -2050 – fossilfrit scenarie.



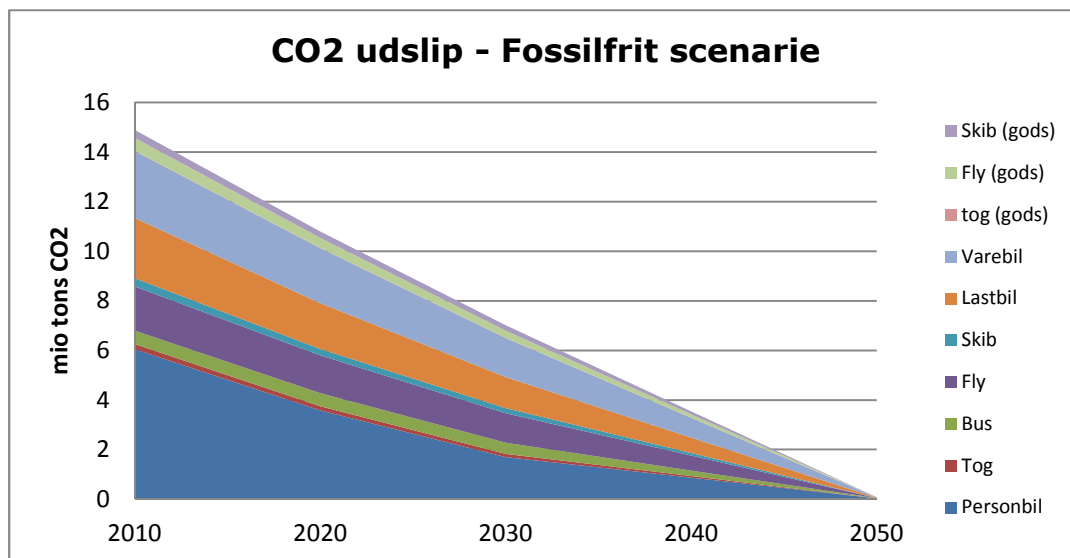
Figur 25 Godstransportarbejde 2010-2050 – fossilfrit scenarie



Figur 26 Det samlede trafikarbejde, person- og godstransport, det fossilfri scenarie



Figur 27 Transportdrivmidler 2010-2050, Fossilfrit scenarie



Figur 28 CO2 udslip fossilfrit scenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler

I det fossilfri scenarie er der stort set ikke nogen CO2 udledning. De 2 % CO2 udledning der er i 2050, kommer fra produktionen af brændstofferne, og her er det hovedsageligt fra produktionen af biobrændsler (fra biomass to liquid – BTL). Biomassen bruges primært af militær og landbrug, lastbiler og fly.

4.4 Sammenfatning af resultater - transport og trafikarbejde

Persontransport

Persontransportarbejdet vokser i både det fossilfri scenarie og i reference- og teknologiscenariene. I det fossilfri scenarie vokser persontransportarbejdet med cirka 20 %, og i reference- og teknologiscenariene med næsten 80 %. Der er altså stor forskel på væksten, som i det fossilfri scenarie er reduceret en del sammenlignet med referencescenariet. Men sammenlignet med den historiske vækst i transportarbejdet fra 1990 og til 2010, som har ligget på ½-1 % om året²⁵, er den udvikling i transportarbejdet, der er fremkaldt af implementering af virkemidler i det fossilfri scenarie, ikke voldsom.

I reference- og teknologiscenariene fordobles persontransportarbejdet i bil frem til 2050. Flytransport af personer stiger eksplosivt fra 2010 – 2050 (cirka 240 %) (tabel 2, bilag 1), mens kollektiv transport og cykel/gang stort set er uændret.

I det fossilfri scenarie er personbilen stadig det mest benyttede transportmiddel, men persontransportarbejdet med bil falder med cirka 20 % i 2050 i forhold til 2010. Der bliver flyttet mere transport over til kollektiv transport og cykel/gang. Det sker for at holde energiforbruget nede. Ved at firedoble persontransportarbejdet med disse "bløde" transportformer, trækkes over 10 % af det samlede persontransportarbejde ud af energiregnskabet. Det forudsættes nemlig, at cirka 80 % af de korte ture (under 5 kilometer) i 2050 foretages på cykel eller til fods, mens transportarbejdet med personbil på disse korte ture, reduceres fra knap 50 % i 2010 til under 10 % i 2050. På de længere ture (over 25 kilometer) skal bus og tog benyttes mere.

²⁵ Andel af transportarbejde – fordeling på turlængde, fossilfrit scenarie 2010, 2020, 2030 og 2050.

Den kollektive transport (bus og sporbunden trafik) skal løfte godt en tredjedel af det samlede persontransportarbejde i det fossilfri scenarie i 2050, mod en femtedel i 2010. Persontransportarbejdet med tog skal i perioden 2010-2050 stige med mere end 250 %, ganske vist fra et lavt udgangspunkt, og for bus stige med 80 %. Tog skal dermed have fordoblet sin markedsandel (fra knap 9 % til knap 18 %) og markedsandelen for bustransport skal øges fra godt 10 % til 15 %. I reference- og teknologiscenariet ændres den kollektive trafiks andel af persontransportarbejdet ikke frem til 2050. Kollektiv transports markedsandel er svagt faldende, da væksten for kollektiv transport er lavere end for personbil.

Sammenlignes markedsandele for personbil, kollektiv transport og cykel/gang, skal den kollektive transport stå for mere end halvdelen af persontransportarbejdet i Hovedstadsområdet. I Østjylland skal kollektiv transport have en næsten lige så høj markedsandel (39 %) som transport med personbil (knap 45 %). I Øvrige Danmark skal den kollektive transports andel også øges, men knap så meget som i Østjylland, hvor der skal ske mere end en fordobling af persontransportarbejdet med kollektiv transport.

For persontransporten reduceres trafikarbejdet²⁶ i det fossilfri scenarie med godt en tredjedel. Til sammenligning vokser trafikarbejdet i reference- og teknologiscenariet med næsten 90 % (Figur 26 og Figur 17). Reduktionen af trafikarbejdet i det fossilfri scenarie gælder især for personbiler (36 %). I reference- og teknologiscenariet ses næsten en fordobling af trafikarbejdet med bil frem til 2050. Trafikarbejdet med fly stiger med cirka 20 % i det fossilfri, mens det stiger 243 % i reference- og teknologiscenariet. At trafikarbejdet kan reduceres så meget i det fossilfri scenarie skyldes den øgede belægningsgrad af køretøjerne (tabel 9, bilag 1), idet kapaciteten skal udnyttes bedre ved at transportere flere personer pr. tur. For personbiler skal belægningsgraden stige fra 1,73 til 2,13 personer i hver bil i 2050. Trafikarbejdet reduceres også via de modale skift til mere effektive transportmidler, og ved at nogle af de mindst nyttige bilture bliver sparet. Det gælder blandt andet korte ture i bil, men også længere ture som ikke er stærkt nødvendige.

Belægningsgraden/kapacitetsudnyttelsen i den kollektive transport skal ligeledes øges. Der skal flere passagerer med i både internationale busser (belægningsgraden skal øges fra 70 til 84 %) og nationale busser (fra 26 til 31 %). Der skal også flere passagerer med tog. Internationale tog skal have en belægningsgrad på 54 % og nationale tog på 48 % i 2050. For tog er det dog relativt beskedne stigninger i forhold til 2010, men der er potentiale til yderligere forbedringer.

Da der ikke skal voldsomt mange flere mennesker ind i de nationale busser, samtidig med at bussernes markedsandel øges, skal der flere busser ud at køre på vejene. Det kræver investeringer. Samme forhold gør sig også gældende for tog.

Trafikarbejdet for kollektiv transport stiger derfor i det fossilfri scenarie noget mere end i reference/teknologiscenariet. Trafikarbejdet med tog skal fordobles, og for busser skal det øges med 1/3.

I reference- og teknologiscenariet stiger personbilens **markedsandel** fra cirka 60 % i 2010 til næsten 65 % af persontransportarbejdet i 2050. Det er dog flytransportens markedsandel som vokser mest i reference- og teknologiscenariet, fra omkring 15 % i 2010 til cirka 20 % i 2050. Markedsandelene for tog, bus og cy-

²⁶ Transportarbejdet udtrykker hvor langt et antal personer eller en mængde gods bliver transporteret. Trafikarbejdet udtrykker hvor mange km. transportmidlerne tilbagelægger, og dermed hvor stor belastningen fra trafikken er på infrastrukturen. Trafikarbejdet kan godt reduceres uden en reduktion i transportarbejdet. Hvis eksempelvis to bilture af samme længde med én person i hver bil erstattes af én tur med to personer i bilen er transportarbejdet det samme, men trafikarbejdet halveret.

kel/gang falder en smule i reference-og teknologiscenariet, mens det faktiske omfang stiger svagt (Tabel 3 og Tabel 4, bilag 1).

I det fossilfri scenarie vil personbilerne fortsat have den største **markedsandel** i 2050, men den falder fra cirka 60 % i 2010 til cirka 40 % i 2050. Til gengæld stiger markedsandelene for tog, bus og især cykel og gang. Tog stiger fra under 10 % til næsten 20 %, bus 10 % til 15 % og cykel/gang fra under 5 % til over 10 %. Der sker altså et modalt skift fra personbil til andre transportformer. Persontransport med fly falder ligesom personbilen i markedsandel dog kun lidt (Tabel 3, bilag 1).

Godstransport

Det samlede godstransportarbejde vokser i det fossilfri scenarie med cirka 40 %, mod en vækst på næsten 100 % i reference- og teknologiscenariet. Denne reduktion af væksten i godstransportarbejdet i det fossilfri scenarie kan især ses for lastbil- og skibstransporten, hvor transportarbejdet stiger væsentligt mindre end i referencescenariet (Tabel 5 og Tabel 6, bilag 1). I det fossilfri scenarie vokser transportarbejdet cirka 20 % for lastbiler og næsten 50 % for skibe (Tabel 5, bilag 1), mens de tilsvarende tal for referencen for begge er over 90 %.

For alle transportmidler i det fossilfri scenarie stiger godstransportarbejdet. For tog sker der en tredobling af transportarbejdet, for varebil øges det næsten 50 %, og fly med næsten 30 % (Tabel 5, bilag 1). Til sammenligning sker der omtrent en fordobling af godstransportarbejdet med varebil og fly i referencescenariet, mens godstransportarbejdet med tog vokser med 80 % (Tabel 6, bilag 1).

Transport med skib har langt den største **markedsandel** målt i tonkilometer i både det fossilfri scenarie og referencescenariet, jf. tabel 7 og 8 i bilag 1. Det skyldes i høj grad, at international skibsfart indgår i beregningerne som en del af den transport, som danskernes økonomiske aktivitet medfører. Markedsandelen for godstransport med skib vokser i begge scenarier, og mest i det fossilfri scenarie, hvor der sker mere end en fordobling af den indenlandske skibstransport (fra cirka 2.000 til næsten 5.000 tonkilometer). Det er dog den internationale skibsfart der vejer tungest i transportarbejdet. I det fossilfri vokser international skibsfart fra omkring 50.000 tonkilometer til næsten 70.000 tonkilometer fra 2010 til 2050.

Den næststørste **markedsandel** har godstransport med lastbil, både i det fossilfri scenarie og i referencescenariet. I det fossilfri scenarie falder markedsandelen for lastbil fra næsten 30 % i 2010 til lidt over 20 %. Der sker et mindre modalt skift fra lastbil til tog, som har den største stigning i markedsandel i det fossilfri scenarie, fra lidt under 1 % i 2010 til lidt over 2 % i 2050. Det tilsvarende tal for referencescenariet er lidt under 1 %, hvor togets markedsandel altså falder. Ellers er markedsandelene for de forskellige transportmidler i referencescenariet stort set uændrede i perioden 2010-2050 (Tabel 7 og Tabel 8, bilag 1).

Trafikarbejdet for gods vokser ganske lidt i det fossilfri scenarie, mens det omtrent fordobles i reference- og teknologiscenariet. Der skal ske et relativt stort modalt skift fra lastbil til tog i det fossilfri scenarie i perioden 2010-2050: Trafikarbejdet for lastbil skal falde med 12 % i perioden 2010-2050, mens trafikarbejdet med tog skal mere end tredobles i perioden, dog fra et meget lavt udgangspunkt. I reference- og teknologiscenariet fordobles trafikarbejdet for alle transportmidler i perioden 2010-2050, med undtagelse af tog, hvor trafikarbejdet stiger cirka 70 %.

Belægningsgraden øges i det fossilfri scenarie for skibe, lastbiler og tog: De internationale skibe fra 55 % til 74 % og de nationale skibe fra 45 % til 61 %, frem til 2050. På international og national lastbil (cirka

40 % til 60 %) samt på varebil (48 % til 62 %) sker der også en betydelig stigning i belægningsgrad i det fossilfri scenarie.

4.5 Sammenfatning af resultater for energiforbrug og CO₂-udledning

Energiforbruget i referencescenariet stiger fra 223 PJ til 279 PJ, godt 50 PJ. I forhold til denne vækst er reduktionerne i teknologi- og fossilfri scenarierne meget store.

I teknologiscenariet falder energiforbruget med cirka 20 % (223 PJ → cirka 176 PJ) fra 2010 til 2050. Implementering af mere energieffektive transportteknologier skærer dermed mere end 100PJ af energiforbruget i 2050 i referencescenariet.

Frem til 2020 fortsætter energiforbruget med at stige i teknologiscenariet. Først fra midten af 2020'erne (2030 i forhold til 1990) får implementering af nye teknologier, såsom biobrændsler og elbiler, så meget volumen, at det kan ses på energiforbruget. I 2050 dækkes knap halvdelen af energiforbruget i teknologiscenariet af fossile brændsler, knap en tredjedel af biobrændsler og der er en relativt stor el-del på cirka 20 (Figur 3, bilag 2). Energieffektiviseringen gælder især for personbiler, fly, lastbiler og varebiler.

I det fossilfri scenarie falder energiforbruget med cirka 65 % (223 PJ → 79 PJ) fra 2010 til 2050. I forhold til energiforbruget i referencescenariet i 2050 er der tale om en reduktion på 200 PJ. Eller sagt på en anden måde: Energiforbruget i referencescenariet er mere end 3 gange så højt som i det fossilfri scenarie i 2050. Implementering af de virkemidler der er valgt får hurtigt energiforbruget til at falde. Teknologierne skal implementeres en smule hurtigere end i teknologiscenariet (bilag 2, tabel 11). Andelen af el og biobrændsler skal allerede i 2020 være højere (henholdsvis cirka 2 % og cirka 10 %) i det fossilfrie scenarie end i teknologiscenariet. Energiforbruget til danskernes transport dækkes i det fossilfri scenarie primært af biobrændsler (cirka 70 %), som udgør langt den største andel af energiforbruget, og af el som når en lidt højere andel end i teknologiscenariet (næsten 25 %) (Figur 4, bilag 2).

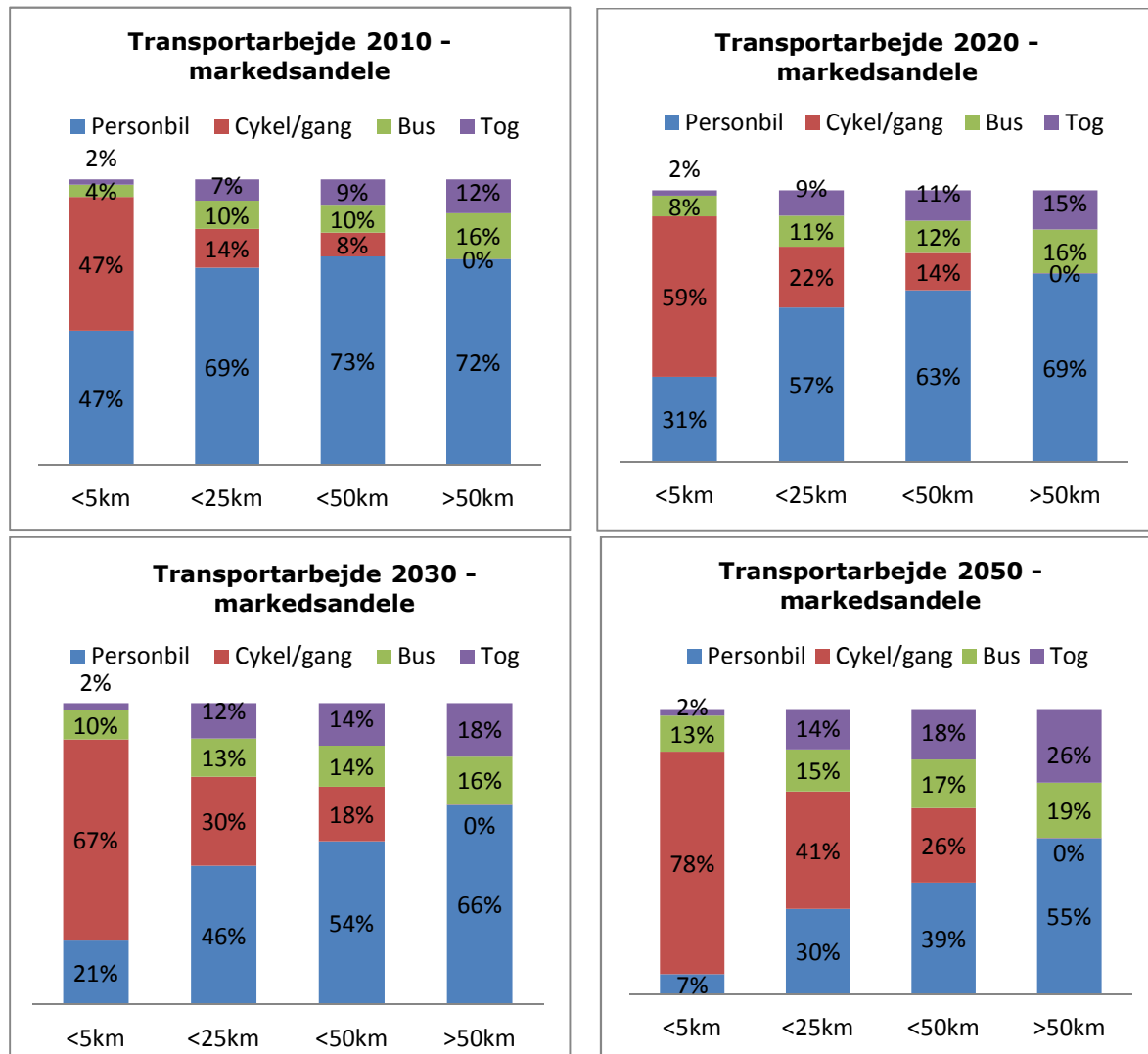
Højere virkningsgrader for eldrevne køretøjer, sammenlignet med brændselsmotoren, medfører et langt lavere energiforbrug for eldrevne køretøjer i forhold til køretøjer, som kører på biobrændsler. Derfor står biobrændslerne (og i teknologiscenariet også de fossile brændsler) for den største andel af energiforbruget til transport. Men de eldrevne køretøjer står for den største andel af transportarbejdet, som det fremgår af Tabel 10 (bilag 2) over transportbrændselsandelene i perioden 2020-2050. 4/5 af energiforbruget til personbiltransport dækkes af el, resten af biobrændsler og brint.

4.6 Persontransport fordelt på turlængde – det fossilfri scenarie

For det fossilfri scenarie er det undersøgt, hvordan valg af transportmiddel er fordelt på turlængde. Dette er vist i Figur 29.

I dag bliver cykel/gang valgt til korte ture under 5 kilometer (hver vej) for cirka halvdelen af persontransportarbejdet, mens bil dækker den anden halvdel mens en lille andel går til kollektiv transport. Jo længere turen er, jo oftere vælger man bilen, og i mindre grad bussen (Figur 29).

I det fossilfri scenarie fordobles andelen af ture under 5 kilometer (hver vej) foretaget til fods eller på cykel omtrent (80 %) frem til 2050, og bilen er næsten fortrængt (under 10 %). Også på de længere ture under 25 kilometer, og endda på ture op til 50 kilometer (hver vej) er der i det fossilfri scenarie en stærkt forøget andel af transportarbejdet, som udføres ved at personerne cykler eller går. Cykel/gang udgør cirka 30 % af transportarbejdet på ture under 50 kilometer i 2050 mod cirka 10 % i 2010. Bilen er stadig det transportmiddel, der bruges til det meste transportarbejde på de længere ture op til 50 kilometer (cirka 50 %), men den bliver benyttet i meget mindre grad end i 2010, hvor den blev benyttet i cirka 80 % af de lange ture på under 50 kilometer (Figur 29).



Figur 29 Andel af transportarbejde – fordeling på turlængde, fossilfrit scenarie 2010, 2020, 2030 og 2050.

Er det muligt at få bilisterne til at vælge cyklen?

Cykelveje forbeholdt cyklister, god cykelparkering, offentlige cykler til låns eller leje, kampagner og konkurrencer og Grøn bølge for cykler - mange tiltag kan bidrage til fremme af cyklismen. På de lange strækninger over 25 kilometer skal der elcykler til og supercykelstier, som fx Furesø Kommune planlægger til København, hvor gennemsnits-hastigheden skal være 30 km./t.

Cykelkampagne i Malmø

En massiv kampagne for at få flere til at cykle i Malmø har hjulpet til, at 30 % af indbyg-gernes ture i dag foregår på cykel, til sammenligning med de 20 % i 1995. Kampagnen "Ingeløjligabilresor" er event-baseret og startede i 2007. Undersøgelser viser at over 10.000 personer har ændret deres rejsevaner takket være kampagnen. De er nu mere villige til at efterlade bilen derhjemme og tage cyklen i stedet på de korte rejser (www.ingeløjligabilresor.nu).

Cykelgader i Münster

En anden måde at forbedre forholdene for cyklister er med såkaldte cykelgader som i stigende grad etableres i Tyskland og Holland. Cykelgaderne er smalle gader, hvor cykli-sterne har absolut førsteret på hele gadens bredde. På cykelgaderne har cyklisterne ret til at køre hvor på gaden de vil, også selvom det blokerer for biler. Biler har som regel også ret til at benytte cykelgaderne, men de må højest køre 30 kilometer i timen eller mindre, og skal til enhver tid holde tilbage for cyklisterne. I Münster var der i 2007 etab-leret 12 cykelgader, og de var så succesfulde, at man har planer om at anlægge 10 mere i de kommende år.

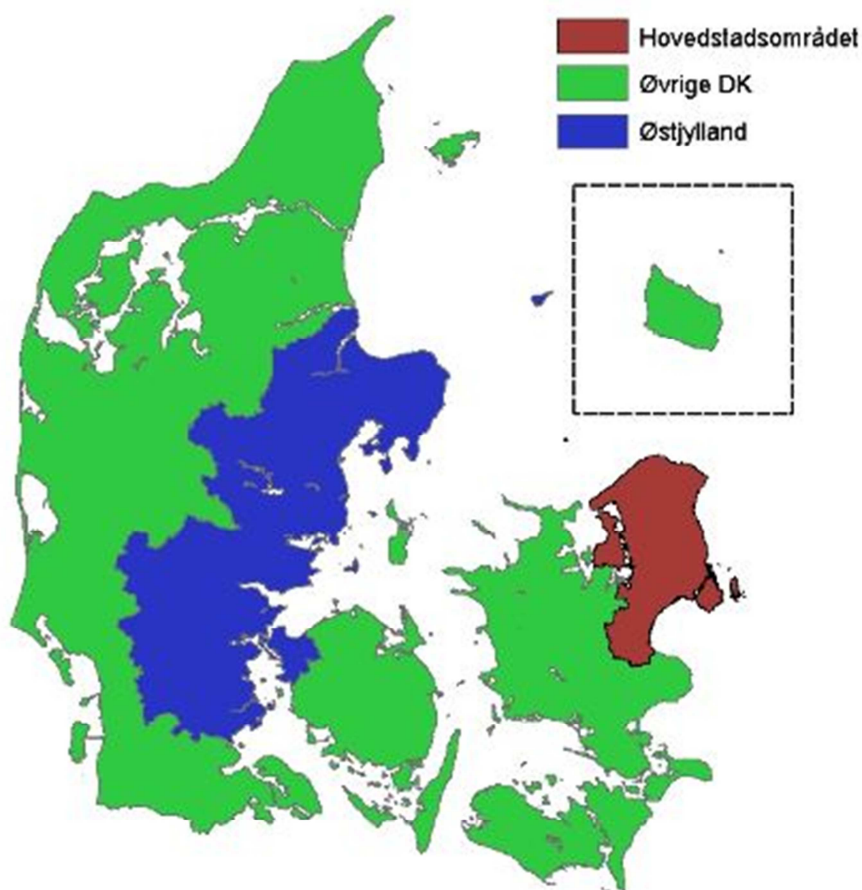
I Münster foregår 36 % af alle indbyggernes ture på cykel (Pucher & Buehler, 2008 og Fietsberaad, 2009). Væksten i antallet af cyklister er ikke sket på bekostning af den of-fentlige transport, som er steget over de seneste tre år. Samtidig er antallet af bilister faldet fra 29 % i 2002 til 22,9 % i 2011 (European Cyklist' Federation).

Kilder og flere eksempler om fremme af cyklisme i bilag 7

4.7 Geografisk varieret sammensætning af persontransportarbejdet

I det fossilfri scenarie flyttes noget af persontransportarbejdet fra personbiler til kollektiv transport og cykel/gang. Det kan og skal ikke ske i samme omfang overalt i landet eller på alle turlængder.

Ved hjælp af et dataudtræk for persontransport fra Transportvaneundersøgelsen 2006-2010 har det været muligt at få regionale transportdata med udgangspunkt i den regionale opdeling, som er vist på kortet. Det er en meget grov opdeling efter befolkningstæthed, da hvert af de tre områder både indeholder større byer og tyndt befolkede landområder. Som tendens er Hovedstadsområdet dog tættest befolket, og har en relativt veludbygget kollektiv trafik allerede i dag, efterfulgt af Østjylland, hvor den kollektive trafik-dækning i dag er ringere.



Figur 30 Danmarkskort inddelt i Hovedstadsområdet, Øvrige DK og Østjylland. Transportsammensætning er varieret inden for de tre områder.

Transportarbejde- regionale markedsandele	2010
Hovedstadsområdet	29.9%
Bil	59.0%
Cykel/gang	6.3%
Kollektiv	34.6%
Østjylland	22.0%
Bil	77.5%
Cykel/gang	3.8%
Kollektiv	18.6%
Øvrige DK	48.0%
Bil	78.6%
Cykel/gang	3.6%
Kollektiv	17.7%
Sum	100.0%

Tabel 12 Andel af det samlede persontransportarbejde for de tre regionier, 2010.²⁷

²⁷ Andele af persontransportarbejde for de 3 regioner i 2030 og 2050 er ikke beregnet.

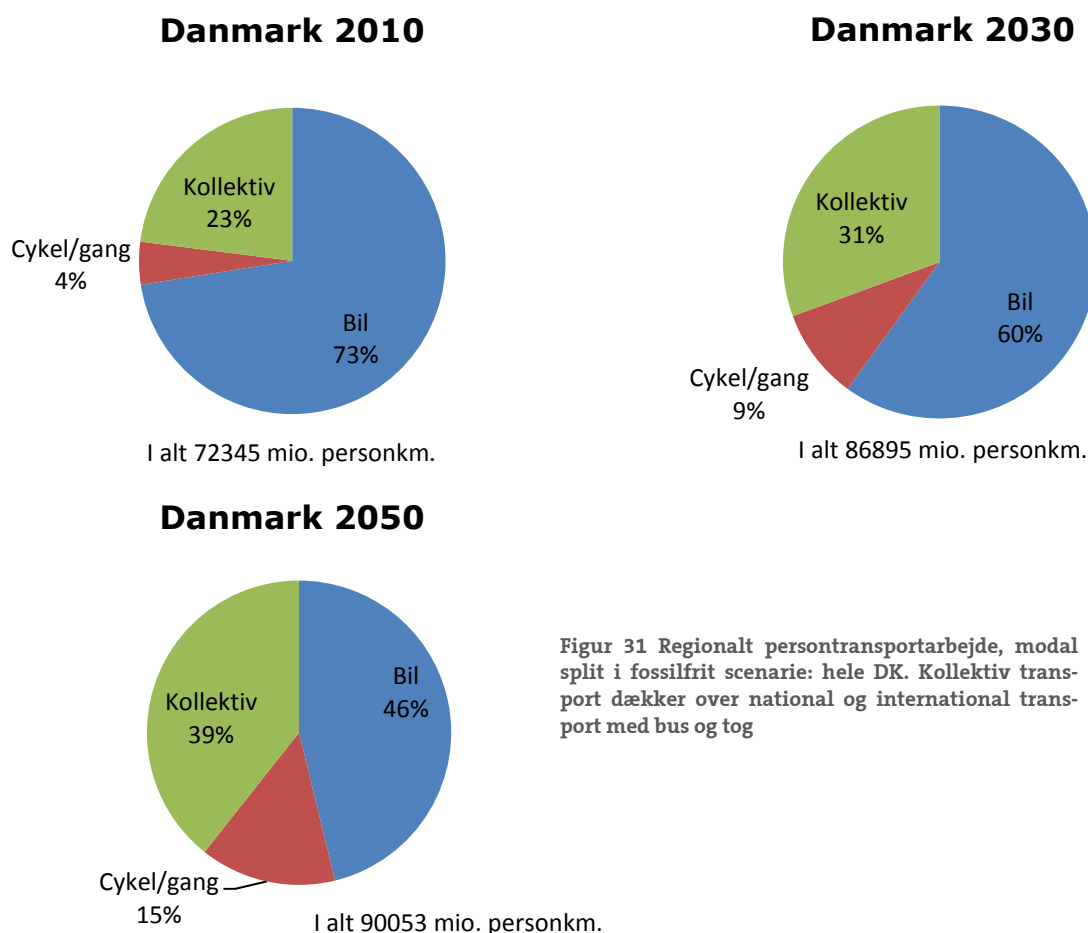
Figur 32 til Figur 34 viser, hvordan skift fra personbil til kollektiv transport og cykel/gang ser ud i de tre områder i det fossilfri scenarie.

Der er tale om et bud på en fordeling af den samlede ændring i sammensætning af persontransport²⁸. Hvis andelen af kollektiv transport og cykel/gang i Øvrige Danmark skal være mindre, må andelen af kollektiv transport øges i de to andre områder for at beregningerne af det fossilfri scenarie går op.

I Hovedstadsområdet, som i det fossilfri scenarie vil have størst udbud af kollektiv transport, går persontransport med bil kraftigt tilbage (Figur 32). Den kollektive trafik skal løfte mere end halvdelen af persontransportarbejdet i Hovedstadsområdet, og cykel/gang cirka 1/5.

I Østjylland skal der ske et mindre skift fra personbil til kollektiv transport, så de to transportformer får omtrent samme markedsandele. Persontransportarbejdet med cykel /gang 3-dobles frem mod 2050 (Figur 33).

Der hvor personbilen vil blive brugt mest til persontransport, er i det øvrige Danmark (Figur 34), hvor der i store tyndt befolkede områder ikke er noget alternativ i form af kollektiv transport. Dog ses der også her et lille knæk for væksten i brug af personbil svarende til den opbremsning i væksten i transportarbejdet, som ses i det fossilfri scenarie. Nogle køreture vil forsvinde. I det øvrige Danmark 3-dobles transportarbejdet med cykel/gang ligeledes.

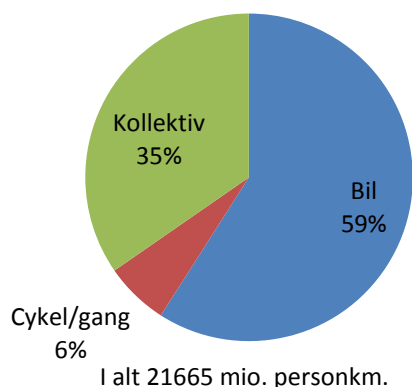


Figur 31 Regionalt persontransportarbejde, modal split i fossilfrit scenarie: hele DK. Kollektiv transport dækker over national og international transport med bus og tog

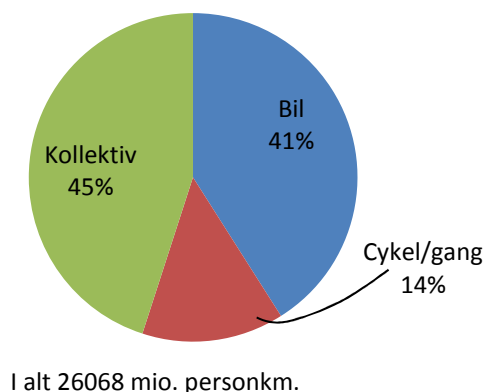
²⁸ Fordeling mellem turlængder der er i tabellerne i dette afsnit, som viser ture under 5, 5-25 og under 50 km. Er foretaget efter egen vurdering. Det er ikke et resultat af implementering af virkemidler.

Figur 31 viser den gradvise ændring i markedsandel for de tre typer af persontransportmidler frem mod 2050. Bilens markedsandel falder markant fra omkring 70 % i 2010 til næsten 50 % i 2050. Bilturene bliver erstattet af kollektiv transport og af cykel/gang. Andelen af transportarbejdet, som udføres med kollektiv transport (national bus og tog), stiger fra lidt over 20 % i 2010 til næsten 40 % i 2050. I samme periode stiger andelen af cykel/gang fra cirka 5 % til cirka 15 %.

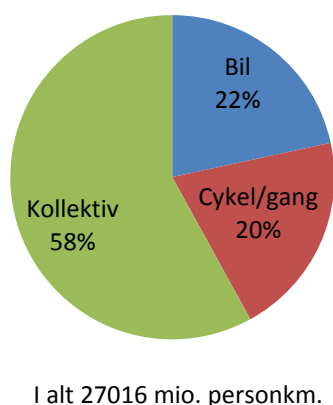
Hovedstadsområdet 2010



Hovedstadsområdet 2030



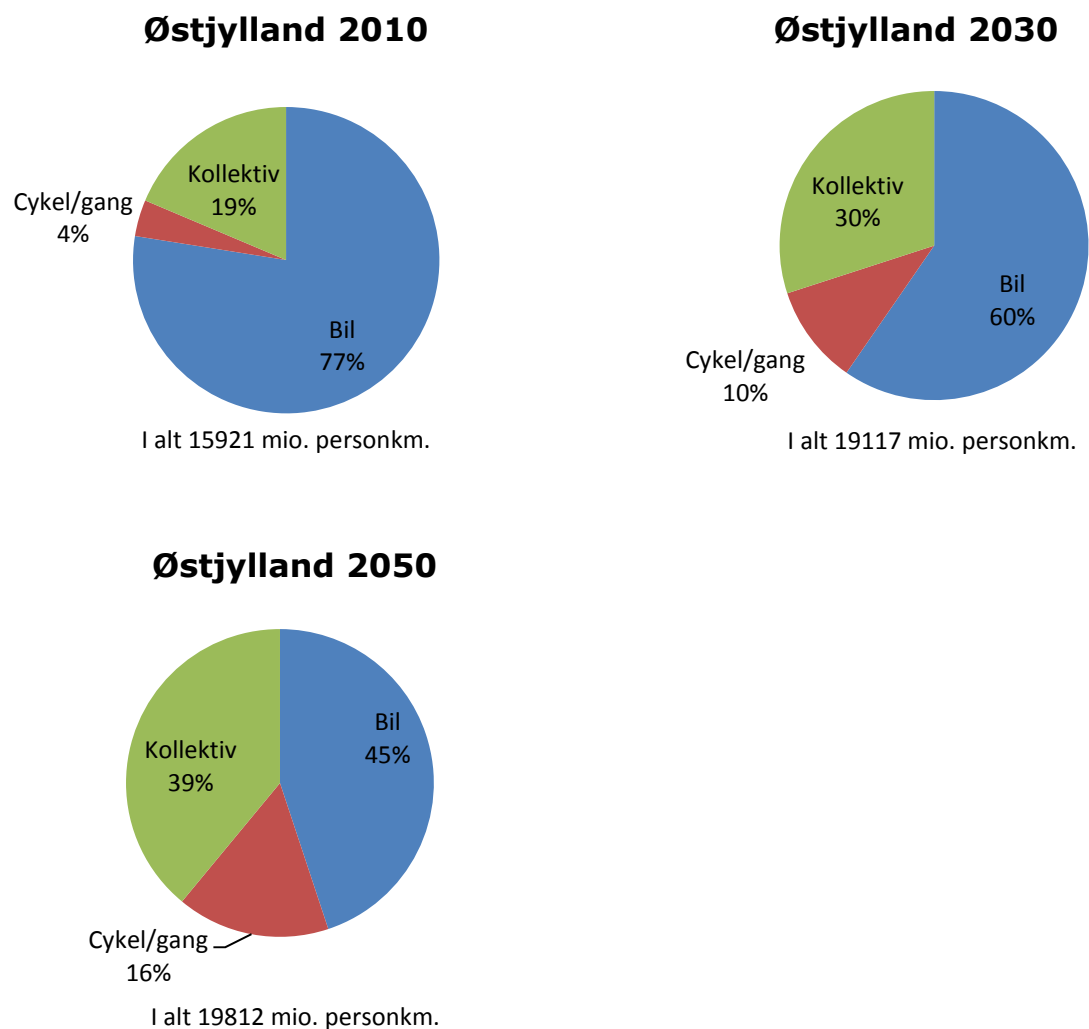
Hovedstadsområdet 2050



Figur 32 Regionalt persontransportarbejde modal split i fossilfrit scenarie: Hovedstadsområdet. Kollektiv transport dækker over national og international transport med bus og tog

I Figur 32 ses udviklingen i Hovedstadsområdet. Her falder personbilernes markedsandel over perioden 2010 til 2050 til omkring en tredjedel af niveauet i 2010, mens markedsandelen af kollektiv transport stiger markant frem til 2050.

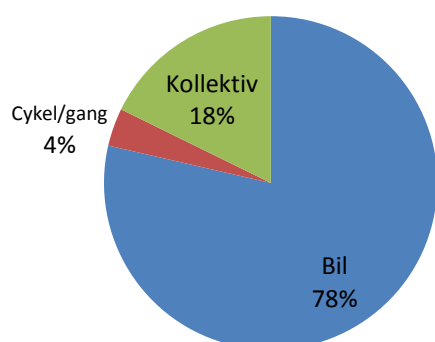
I Hovedstadsområdet foregår over halvdelen af persontransporten med kollektiv transport i det fossilfrie scenarie i 2050, mod kun omkring 30 % i 2010, og godt en femtedel ved cykel/gang i 2050, mod under 10 % i 2010. Det er især på de kortere ture, at flere skifter bilen ud med cykel (jf. Figur 32). Bilens markedsandel stiger i Hovedstadsområdet fra cirka 60 % i 2010 til cirka 20 % i 2050.



Figur 33 Regionalt persontransportarbejde modal split i fossilfrit scenarie: Østjylland. Kollektiv transport dækker over national og international transport med bus og tog

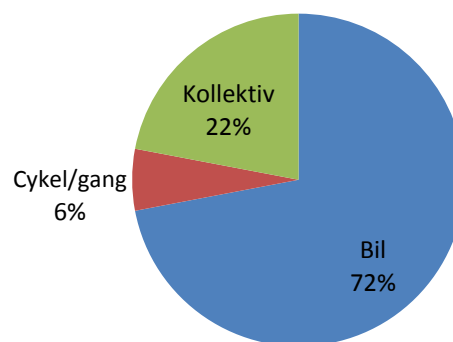
En tilsvarende udvikling ses i Østjylland (Figur 33), hvor der også er en kraftig stigning i andelen af kollektiv transport (fra knap 20 % til cirka 40 %), og andelen af cykel/gang (fra under 5 % til lidt over 15 %) på bekostning af bilen. Østjylland skal dermed nå godt og vel det samme niveau, som Hovedstadsområdet har i dag for kollektiv transport. Bilen har dog stadig, til forskel fra Hovedstadsområdet, den største markedsandel (næsten 50 %) i 2050.

Øvrige Danmark 2010



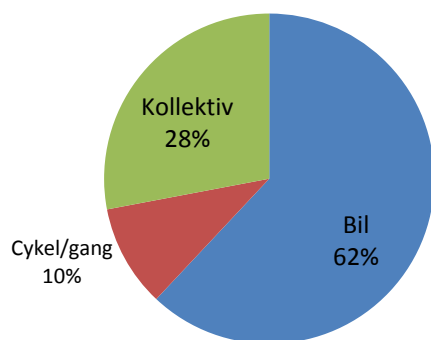
I alt 34760 mio. personkm.

Øvrige Danmark 2030



I alt 43225 mio. personkm.

Øvrige Danmark 2050



I alt 41710 mio. personkm.

Figur 34 Regionalt persontransportarbejde modal split i fossilfrit scenarie: Øvrige DK. Kollektiv transport dækker over national og international transport med bus og tog

I det øvrige Danmark dominerer bilen også persontransporten med en markedsandel på godt 60 % i 2050 (Figur 34) i det fossilfrie scenarie. Men markedsandelen af den offentlige transport stiger også markant, fra næsten 20 % i 2010 til cirka 30 % i 2050. Cykel/gang stiger fra under 5 % til cirka 10 % i 2050.

5. Samfundsøkonomiske omkostninger – investeringer i energiforsyning, transporttjenester og transportinfrastruktur

Det er altid svært at sammenligne omkostninger for omstilling af store systemer som det danske transportsystem. Dels griber transportsektoren ind i andre sektorer og især på sigt i energiforsyningen. Dels kan det være svært at vurdere om det, der sammenlignes, er meningsfuldt sammenligneligt, dvs. om de ydelser transport- og energisystemet leverer er sammenlignelige. Hele strukturen, og de ydelser der leveres, kan være forskellige. Der kan f.eks. være tale om at tilfredsstille forskellige transport- og energitjenesteniveauer. Desuden er der store usikkerheder på fremtidens brændselspriser og teknologiomkostninger.

I dette afsnit gives nogle bud på omkostningerne i forskellige scenarier. Klimakommissionens Fremtidsforløb A sammenlignes med Teknologirådets Reference, Teknologiscenarie og Fossilfri scenarie. Dette gøres dels ved at kigge på hele energisystemets omkostninger og dels ved at kigge specielt på omkostningerne til transporttjenester.

Omkostningerne er beregnet med modelværktøjet STREAM²⁹ og der kan findes flere figurer og resultater i Bilag 3 (figurer 19-24 og 25-30).

Da investeringer i transportinfrastruktur ikke er inkluderet i STREAM, er der foretaget nogle overslag over nødvendige investeringer i kollektiv transport i afsnit 5.3.

I de præsenterede overslag på omkostninger til at drive det danske energisystem, og specielt til at levere transporttjenester, er der en række omkostninger og gevinster, som ikke er inkluderet i beregningerne. Dette skal man være opmærksom på. Det gælder følgende:

Eksternaliteter, såsom helbredsomkostninger fra luftforurening og andre skader af forurening, er ikke medtaget. Der er altså nogle gevinster, som scenarier med mindre luftforurening ikke godskrives for.

Trængsel er heller ikke prissat i beregningerne. Her er det især ved scenarier med høj vækst i transportarbejdet, og med megen spildt tid i trafikøer, at omkostningerne er undervurderet.

Modal skift fra f.eks. bil til cykel eller kollektiv transport giver i beregningerne ikke anledning til velfærdstab.

5.1 Scenariernes samfundsøkonomiske omkostninger

Hvis man sammenligner omkostninger til transporttjenester på tværs af de nævnte scenarier, får man et billede i 2050, der får Klimakommissionens Forløb A og Teknologirådets Fossilfri scenarie til at fremstå billigere for samfundet end hhv. referencen og Teknologiscenariet. Referencen og Teknologiscenariet ligger med årlige omkostninger i 2050 på 160 mia. kroner, mens Teknologirådets Fossilfri scenarie ligger omkring 105 mia. kroner og Klimakommissionens på 125 mia. kroner (se Figur 36). Ud fra dette kan man

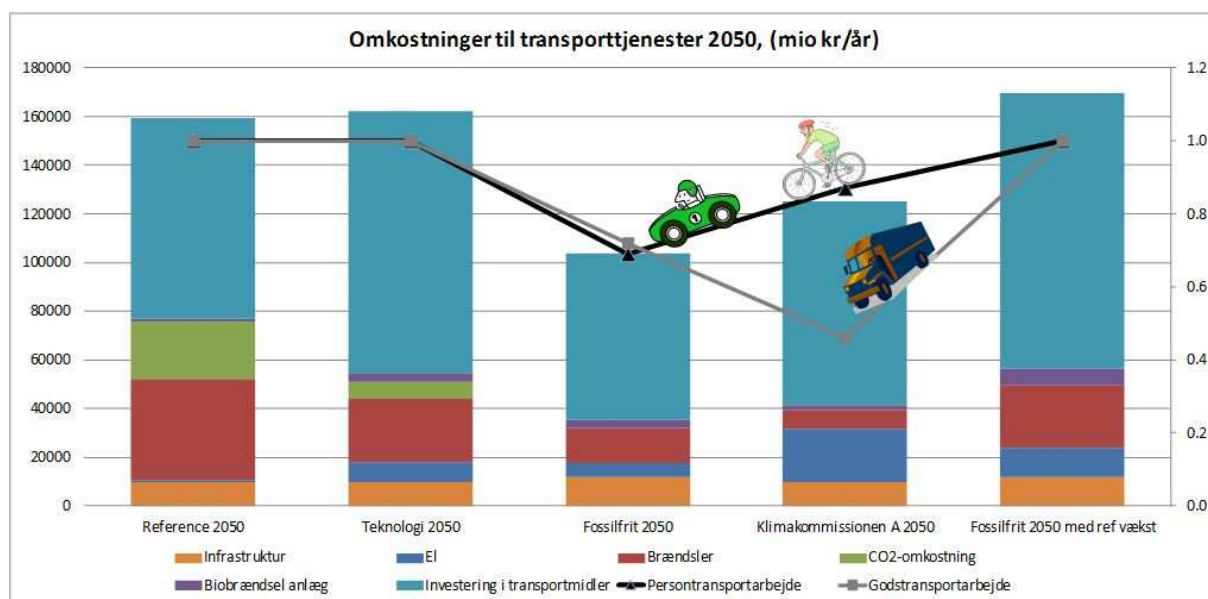
²⁹ STREAM modellen blev bl.a. anvendt af Klimakommissionen til beregning af et energisystem på VE. Omtalt i afsnit 3.6.

konkludere, at Teknologirådets fossilfri transportsystem er omkring **55-60 mia. kroner** billigere i drift om året end Referencen og **20 mia. kroner** billigere end Klimakommissionens transportsystem.

Ved sammenligning af scenarierne skal man dog være opmærksom på, at man ikke får samme ydelse i form af transportarbejde. I Figur 35 er der ud over omkostninger også angivet niveauet af transportarbejde relativt til referencen. Klimakommissionen ligger lavere i transportarbejde, fordi de ikke har inkluderet danskernes andel af den internationale transport, mens Teknologirådets fossilfri scenarie ligger lavere på grund af indførte virkemidler, der dæmper væksten i transportarbejdet. Som nævnt tidligere i rapporten er det vigtigt at tænke i mobilitet frem for det umiddelbart målbare transportarbejde. En af de vigtigste virkemidler i Teknologirådets Fossilfri scenarie er fysisk planlægning. Det vil sige, hvordan placeres arbejdspladser, indkøbsmuligheder og boliger i forhold til hinanden, og hvordan transportmulighederne er mellem disse funktioner. Hvis dette planlægges bedre, er der ikke brug for at transportere sig så langt for at få opfyldt sine transportbehov. Mobiliteten er bevaret, men transportarbejdet går ned.

Af Figur 35 ses, at for alle scenarier gælder, at de største omkostninger for samfundet i transportsystemet er selve investeringen i køretøjerne. Det udgør i alle tilfælde mere end 2/3 af alle omkostninger. Derfor har det en enorm betydning, hvor mange køretøjer samfundet har brug for, og hvor dyre disse køretøjer er. Teknologirådets Fossilfri scenarie er billigere end Referencen og Teknologiscenariet, blandt andet fordi der er behov for færre biler og lastbiler i dette scenarie. Derudover er der også en besparelse på brændsels- og CO2-omkostninger.

I Figur 35 er der ydermere vist en beregning af, hvorledes omkostningen ville fordele sig i det Fossilfri scenarie, hvis mængden af transportarbejde blev fastholdt på niveauet i Referencen og i Teknologiscenariet (søjlen yderst til højre). I dette tilfælde ville samfundets omkostninger være ca. 5 mia. kroner dyrere om året i 2050 som følge af en fuld udfasning af fossile brændsler, og samtidig ville det være nødvendigt at importere store mængder biomasse til produktion af transportbrændsler.



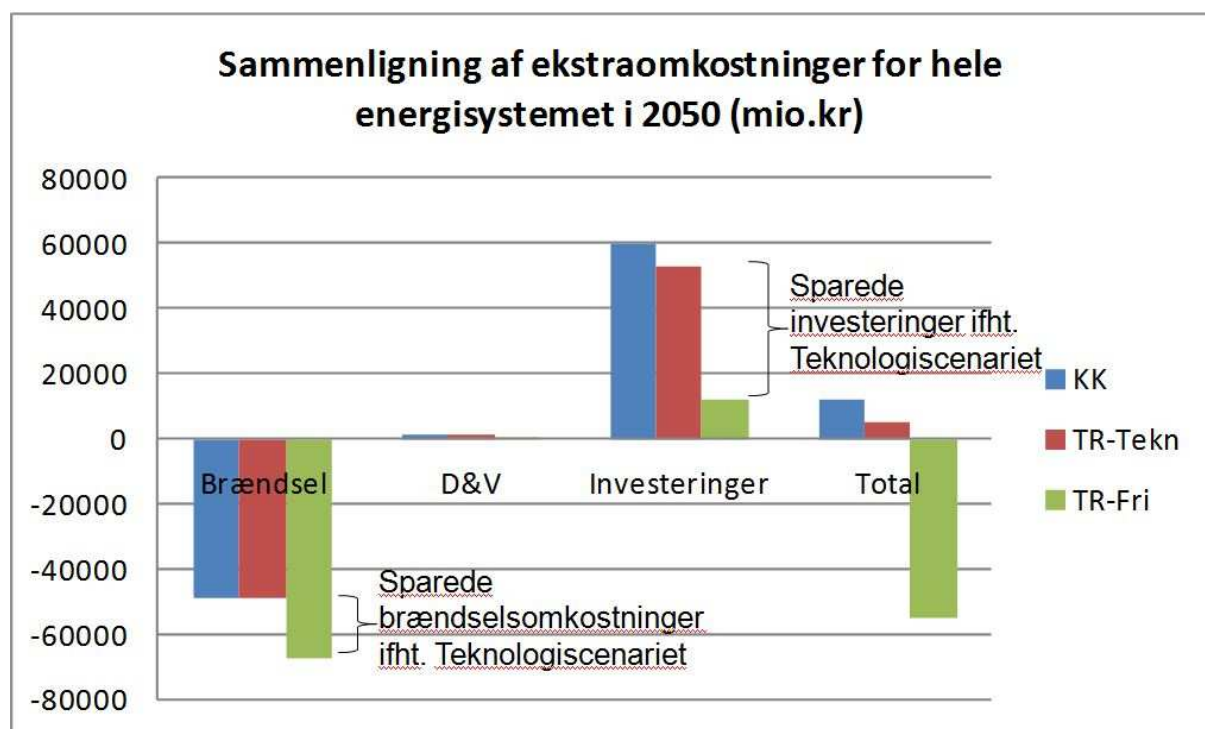
Figur 35 Omkostninger til transporttjenester i 2050 for forskellige scenarier. Der er inkluderet et bud på infrastrukturomkostninger i de enkelte scenarier for at give et helhedsbillede. Desuden vises mængden af persontransportarbejde og godstransportarbejde relativt til Referencen

Ved forskellige fremtidige transportsystemer vil påvirkningen af det omkringliggende energisystem også være forskellig. Hvis der er flere elbiler, skal der også produceres mere el, og dermed opføres mere elproduktionskapacitet. Hvis vi skal se på den samlede effekt for samfundet, er det derfor nødvendigt at se på hele energisystemet og inddrage alle omkostninger.

I STREAM-modellen indgår hele det danske energisystem, og de samlede samfundsøkonomiske omkostninger beregnes under de begrænsninger, der nævnes i starten af afsnittet. I bilag 3 figur 19-24 vises resultaterne for Teknologirådets Teknologiscenarie og Fossilfri scenarie, og omkostningerne vises som ændringer i forhold til Referencen, det vil sige, hvad er scenariets ekstraomkostninger eller besparelser i forhold til Referencen.

I Figur 36 er Teknologirådets scenarier sammenlignet med Klimakommissionens Fremtidsforløb A, det vil sige tre scenarier bliver sammenlignet med den samme reference. Figuren illustrerer, hvor svært det er at konkludere, hvad omkostningen er for samfundet ved at følge det ene eller det andet scenarie. Det kommer helt an på, hvad man antager er alternativet.

I Teknologirådets Fossilfri scenarie investeres i mere effektive og dyrere køretøjer set i forhold til Referencen. Men da der samtidig er behov for færre køretøjer, bliver de samlede ekstraomkostninger til investeringer på omkring 10 mia. kroner. De mere effektive køretøjer sparer en hel del brændsel og især dyr olie (benzin). Det betyder, at brændselsbesparelsen er på over 60 mia. kr. om året i 2050. Dette giver tilsammen en besparelse for samfundet på ca. 55 mia. kroner om året i 2050, hvis man sammenligner det Fossilfri scenarie med Referencen.



Figur 36 Forskel i samfundsøkonomiske omkostninger i forhold til Teknologirådets Reference på brændsler, drift og vedligehold, investeringer samt på totale omkostninger for Klimakommissionens Fremtidsforløb A, teknologirådets Teknologiscenarie samt Teknologirådets Fossilfri scenarie

Det ses af Figur 36, at omkostningerne ved Klimakommissionens scenarie meget ligner Teknologirådets Teknologiscenarie.

Men hvad hvis alternativet til det Fossilfri scenarie var Teknologiscenariet? Altså et scenarie hvor der ikke fokuseres på modale skift, og hvor transportarbejdet følger samme udvikling som Referencen?

Da begge senarier har en meget energimæssigt effektiv transportsektor, fortrinvis uden fossile brændsler, er der ikke så stor forskel i sparede omkostninger til brændsel (ca. 20 mia. kroner om året). Forskellen skyldes først og fremmest, at der ikke bliver kørt så mange kilometer i det Fossilfri scenarie som i Teknologiscenariet. Derved er der stor forskel på investeringer. Dels er der behov for flere køretøjer i Teknologiscenariet, og dels skal der investeres i mere kapacitet til produktion af biobrændsler og el til transportsektoren. Investeringerne i det Fossilfri scenarie ligger ca. 40 mia. kroner under Teknologiscenariet om året.

Det interessante ved disse sammenligninger er, at uanset om vi sammenligner Teknologirådets Fossilfri scenarie med Referencen, med Teknologiscenariet eller med Klimakommissionens Forløb A, så er besparelsen **ca. 55 mia. kroner om året i 2050**. I sammenligning med Referencen ligger besparelsen hovedsageligt på brændselsforbruget, mens hvis der sammenlignes med Teknologiscenariet eller Klimakommissionens scenarie, så ligger besparelsen på investeringerne.

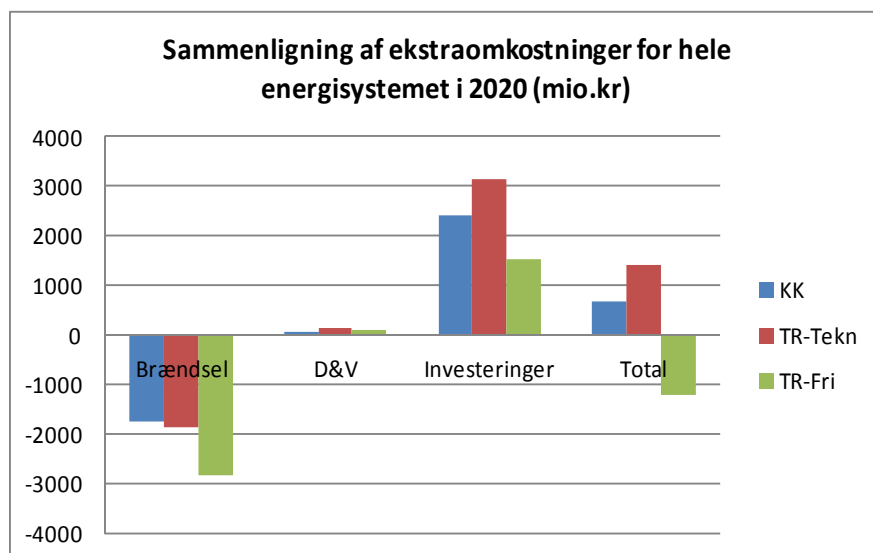
Detaljer om forskellen mellem det fossilfri scenarie og reference scenarie i 2050:

I det fossilfri scenarie spares 55 mia. kroner årligt i forhold til referencescenariet, for de annuierede samfundsøkonomiske omkostninger beregnet ved hjælp af STREAM, (figur 19-21 og 25-27 i bilag 3).

Det er muligt fordi:

- Reduktion i omkostninger til brændsler, som en konsekvens af en reduktion af energiforbruget. Det vil sige betinget af reduktionen af transportarbejdet, energieffektiviseringer og et skift mod mere el i transportsektoren. Besparelse cirka 27 mia./år. Årsagen til at omkostningen til el-forbrug ikke stiger tilsvarende, skyldes at virkningsgraderne er højere for el-biler end for traditionelle køretøjer, samt at der sker en reduktion af transportarbejdet. Det er vigtigt at pointere at el således ikke er billigere pr energi-enhed, tværtimod er der antaget at el er næsten dobbelt så dyrt pr GJ.
- Reduktion i CO2 omkostninger, intet CO2 udslip fra transportsektoren er lig en reduktion på cirka 23,5 mia. kroner/år. Det skyldes skift til CO2 neutrale brændsler. Årsagen til den forholdsvis høje besparelse skyldes antagelsen om en høj CO2 pris i Klimakommissionens fremtidsforløb A (1150kr/t i 2050).
- Reduktion i omkostning til transportmidler. Reduktionen i trafikarbejde på cirka 35 % for transport med personbil kan oversættes til, at der kører 35 % færre biler rundt i 2050 sammenlignet med 2010, og omkostningen til køb af transportmidler falder derfor. Denne besparelse er i 2050 cirka 17,5 mia. kroner/år. Dog falder omkostningen ikke tilsvarende med 35 % da mange af bilerne som købes i 2050 (og også i 2030) er el/hybridbiler, som er væsentligt dyrere i indkøb end traditionelle benzin/dieselskøretøjer.

Forskellen mellem scenarierne øges over tid. Jo længere fremme mod 2050, jo større er forskellene og dermed også forskellene på omkostningerne. For at illustrere dette viser Figur 37 en sammenligning af scenarierne i 2020. Billedet er det samme som i 2050, men da ændringer i 2020 kun er slået beskedent igennem, er forskellen ikke så stor.

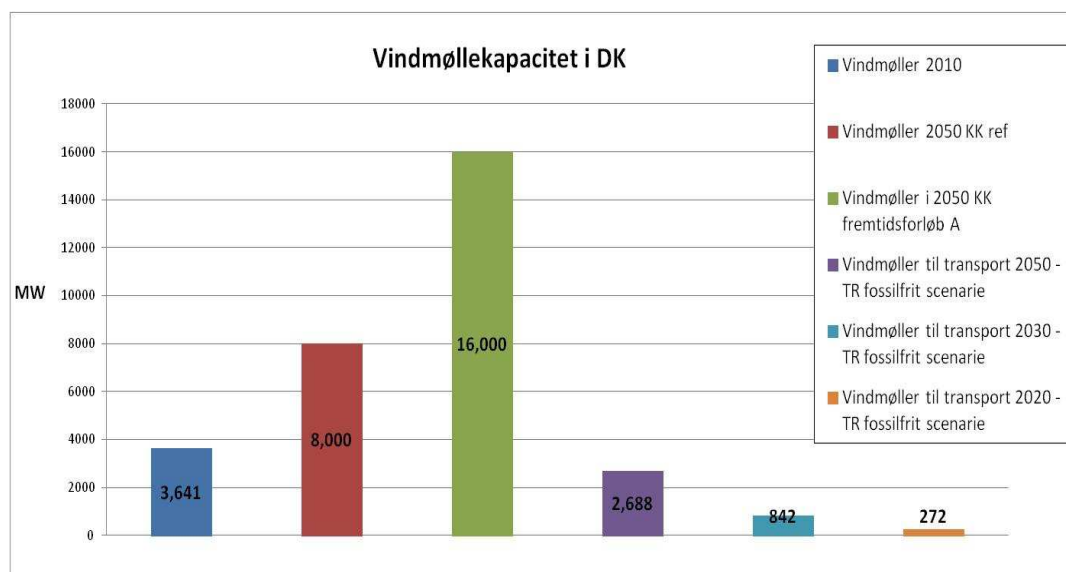


Figur 37 Forskel i samfundsøkonomiske omkostninger i forhold til Reference på brændsler, drift og vedligehold, investeringer samt på totale omkostninger for Klimakommisionens Fremtidsforløb A, teknologirådets Teknologiscenarie samt Teknologirådets Fossilfri scenarie

Figur 38 viser at det er nødvendigt at have 1387 MW vindkapacitet installeret i 2050 til produktion af elektricitet for at drive de el-baseret transportmidler i det fossilfri scenarie. Dette er under antagelse af at al elektricitet til transportformål er baseret på vindenergi. Dette svarer til at der skal være opstillet cirka 9 gange Horns rev 1 eller 6-7 gange Horns rev 2 som udelukkende servicerer transportsektoren.

Det vil koste cirka 1 mia. kroner/år i 2050 i ekstra investeringer til vindmøller, at holde personbiltransporten i 2050 på samme niveau som i 2010. Dette svarer til, at der i 2050 skal være installeret cirka 140 MW ekstra el årligt, svarende til cirka 35 stk. 5 MW havmøller. Dette svarer til cirka 0,9 gange Horns rev 1 eller 0,7 gange Horns rev 2.

Det vil koste cirka 2,3 mia. kroner/år i 2050 i ekstra investeringer til vindmøller, at holde personbiltransporten i 2050 på niveau med referencen i 2050. Dette svarer til at der i 2050 skal være installeret cirka 1100 MW ekstra el årligt, svarende til cirka 220 stk. 5 MW havmøller. Dette svarer til cirka 7 gange Horns rev 1 eller 5 gange Horns rev 2.



Figur 38 Vindmøllekapacitet i DK, i Klimakommissionens fremtidsforløb A og til transport i det fossilfrie scenarie. De 2688 MW til transport i 2050 svarer til 17 vindmølleparker af Horns Rev 1 størrelse eller 13 af Horns Rev 2

5.2 Omkostninger til udbygning af kollektiv trafik i det fossilfrie scenarie

Da de økonomiske beregninger i STREAM ikke medtager investeringer i infrastruktur er der foretaget en vurdering af, hvilke investeringer i infrastruktur som det fossilfrie scenarie indebærer³⁰.

I det fossilfrie scenarie er der et meget begrænset behov for at investere i vejinfrastruktur, i hvert fald frem til, at langt størstedelen af personbilerne kan køre på vedvarende energi. Statslige investeringer i vejinfrastruktur har hidtil typisk ligget på 3-5 mia. kroner/år. Et tilsvarende niveau for det fossilfrie scenarie virker derfor realistisk.

Der vil være behov for investeringer i jernbaneinfrastruktur til at klare de store stigninger i passager- og godstransporten. En stor del af de nødvendige investeringer er allerede besluttet blandt andet i trafikforliget fra 2009: Ny bane København-Køge-Ringsted, opgradering af banen Ringsted-Puttgarden, total udskiftning af signalsystemet på hele BaneDanmarks net, metrocityring i København, letbaner i Århus og København. Hvor og i hvilket omfang der derefter er behov for yderligere investeringer er svært at fastlægge på forhånd, men frem til 2040 kunne det dreje sig om:

- Banen Odense-Århus-Hobro: Timemodellen er vedtaget på strækningerne København-Odense og Hobro-Ålborg, men det resterende stykke er langt det mest investeringskrævende. Der skal formodentlig delvis anlægges helt ny bane, også hvis banen i højere grad skal bruges til lokal kollektiv trafik i det østjyske bybånd. Det kan herunder være nødvendigt med en jernbanebro over Vejle Fjord. Prisestimat 10-30 mia. kroner.
- Elektrificering af alle hovedstrækninger (til Struer, Frederikshavn, Esbjerg, Kalundborg), cirka 12 mia. kroner (jf. BaneDanmark: Strategisk analyse af elektrificering af banenettet (2011)).

³⁰ Dette afsnit er udarbejdet af Per Homann Jespersen.

- Kapacitetsudvidelse over Storstrømmen. Forbindelsen København-Hamburgs største flaskehals vil være den enkeltsporede forbindelse over Storstrømsbroen. En ny bro- eller tunnelforbindelse er nødvendig, evt. i kombination med ny bane på en lidt længere strækning uden om Vordingborg og Nykøbing F. Prislap 15-25 mia. kroner.
- Kapacitetsudvidelse over Øresund. Hvis Femern Bælt tunnelen skal udnyttes maksimalt til gods og passagerer, kræver det formodentlig en ny godsforbindelse over Øresund. Muligvis kan en ny godsbane Peberholmen-Sydamager-Ny Ellebjerg klare behovet. Under alle omstændigheder er flaskehalsene på den tyske side af Femern Bælt tunnelen noget der skal klares senest samtidig. 5-25 mia. kroner.
- Banen Svanemøllen-København H begrænser kapaciteten for hele S-togsnettet. Forskellige løsninger har været fremme, blandt andet;
 - at tog fra Hillerødgrenen skal kunne køre videre ad Ringbanen og mod Køge
 - en ny tunnelbane fra Hillerødgrenen over Ryparken og Rigshospitalet til Enghave
 - omlægning af Helsingørbanen til S-tog med mulighed for at bruge regionaltogets spor til S-tog mellem Hellerup og København H
 - Prissedlen vil ligge i intervallet 10-20 mia. kroner
- Der vil være behov for overhalingsspor forskellige steder på nettet, for at kunne have persontog, fra lokaltog til højhastighedstog og godstog til at kunne køre på de samme strækninger.
- Storbyernes kollektive infrastruktur skal forbedres, for eksempel ved at;
 - Letbanen i ring 3 i København udvikles til et net, der forbinder ringbanen med citymetroen og den indre by
 - Der etableres metro Nordhavn-Østerport-København H-Sydhavn-Hvidovre Hospital
 - Letbanen i Århus udvides med de planlagte ruter
 - Der eventuelt etableres letbaner i Odense og Ålborg
- Dette vurderes, at kunne komme til at koste 25-40 mia. kroner. Hvis halvdelen finansieres kommunalt vil der være en statslig udgift på op til 20 mia.
- Der kan også blive brug for nye baner enkelte andre steder, såfremt behovet kan dokumenteres.

Øget bustransport vil kun kræve forholdsvis begrænsede investeringer i infrastruktur.

Alt i alt et investeringsbehov i bane på 100-150 mia. kroner. I perioden 2009-2020 investerer staten 8-9 mia. kroner i trafikinfrastruktur pr. år, hvortil kommer blandt andet citymetroring i København, som er vedtaget tidligere og Femern Bælt-forbindelse, der antages at være selvfinansierende. Det årlige statslige investeringsbehov i baner fra 2020 til 2040 vil således ligge på 5-7,5 mia. kroner, og vil således ikke nødvendiggøre, at investeringsniveauet for trafikinfrastruktur sættes op.

Figurer og tabeller

Figur 1 Skematisk fremstilling af metoden	9
Figur 2 Transportsektorens CO2 udslip index, 2010-2050 i 3 scenarier	10
Figur 3 Persontransportarbejde 2010-2050 – fossilfrit scenarie	11
Figur 4 Godstransportarbejde 2010-2050 – fossilfrit scenarie	11
Figur 5 Energiforbrug (tank to wheel) for danskernes transport i de tre scenarier	15
Figur 6 Transportsektorens CO2 udslip index, 2010-2050 i 3 scenarier	17
Figur 7 Fordeling af det transportarbejde som foretages med personbil, cykel/gang, bus og tog i de tre scenarier, 2010- 2050	19
Figur 8 Fordeling af det trafikarbejde som foretages med personbil, cykel/gang, tog og bus i de tre scenarier, 2010-2050	20
Figur 9 Sammenligning af energiforbruget til transport med bus, tog og personbil i de tre scenarier, 2010 – 2050	22
Figur 10 Transportarbejdet for den landbaserede godstransport sammenlignet for de tre scenarier, 2010 – 2050	23
Figur 11 Trafikarbejde for den landbaserede godstransport sammenlignet for de tre scenarier, 2010 – 2050	24
Figur 12 Energiforbruget for landbaseret godstransport sammenlignet for de tre scenarier	25
Figur 13 Sammenhæng mellem referencescenarie, teknologiscenarie og det fossilfri scenarie	28
Figur 14 Figur 14 mangler	
Figur 15 Persontransportarbejde 2010-2050 – reference scenarie	39
Figur 16 Godstransportarbejde 2010-2050 – reference scenarie	40
Figur 17 Trafikarbejde persontransport 2010-2050 reference scenarie	40
Figur 18 Trafikarbejde godstransport 2010-2050 reference scenarie	41
Figur 19 Transportdrivmidler 2010-2050, Teknologiscenariet	42
Figur 20 CO2 udslip teknologiscenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler	43
Figur 21 CO2 udslip teknologiscenarie 2010-2050, fordeling på brændsler	43
Figur 22 CO2 udslip teknologiscenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler til persontransport	43
Figur 23 CO2 udslip teknologiscenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler til godstransport	44
Figur 24 Persontransportarbejde 2010 -2050 – fossilfrit scenarie	46
Figur 25 Godstransportarbejde 2010-2050 – fossilfrit scenarie	46
Figur 26 Det samlede trafikarbejde, person- og godstransport, det fossilfri scenarie	47
Figur 27 Transportdrivmidler 2010-2050, Fossilfrit scenarie	47
Figur 28 CO2 udslip fossilfrit scenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler	48

Figur 29 Andel af transportarbejde – fordeling på turlængde, fossilfrit scenarie 2010, 2020, 2030 og 2050	52
Figur 30 Danmarkskort inddelt i Hovedstadsområdet, Øvrige DK og Østjylland	54
Figur 31 Regionalt persontransportarbejde, modal split i fossilfrit scenarie: hele DK	55
Figur 32 Regionalt persontransportarbejde modal split i fossilfrit scenarie: Hovedstadsområdet	56
Figur 33 Regionalt persontransportarbejde modal split i fossilfrit scenarie: Østjylland	57
Figur 34 Regionalt persontransportarbejde modal split i fossilfrit scenarie: Øvrige DK	58
Figur 35 Omkostninger til transporttjenster i 2050 for forskellige scenarier	61
Figur 36 Forskel i samfundsøkonomiske omkostninger i forhold til Teknologirådets Reference	62
Figur 37 Forskel i samfundsøkonomiske omkostninger i forhold til Reference	64
Figur 38 Vindmøllekapacitet i DK	65
Tabel 1 Fordeling af det transportarbejde som foretages med personbil, cykel/gang, bus og tog i de tre scenarier, 2010- 2050	19
Tabel 2 Fordeling af det trafikarbejde som foretages med personbil, cykel/gang, tog og bus i de tre scenarier, 2010-2050	20
Tabel 3 Sammenligning af energiforbruget til transport med bus, tog og personbil i de tre scenarier, 2010 – 2050	22
Tabel 4 Transportarbejdet for den landsbaserede godstransport sammenlignet for de tre scenarier, 2010 – 2050	23
Tabel 5 Trafikarbejdet for den landsbaserede godstransport sammenlignet for de tre scenarier, 2010 – 2050	24
Tabel 6 Energiforbrug for landsbaseret godstransport sammenlignet for de tre scenarier, 2010 – 2050	25
Tabel 7 Belægningsgrader fossilfrit scenarie	26
Tabel 8 Forklaring af virkemidler anvendt til beregning af det fossilfri scenarie	30
Tabel 9 Effekter af virkemidler på transportarbejdet (pkm./tkm.) i 2050	31
Tabel 10 Periodisering af virkemidlernes effekt	32
Tabel 11 Prisforudsætninger med og uden CO2-omkostninger, 2050	36
Tabel 12 Andel af det samlede persontransportarbejde for de tre regioner, 2010	54

Litteraturliste

Publikationer

BaneDanmark (2011): Strategisk analyse af elektrificering af banenettet

BP (2009): BP Statistical Review of World Energy 2009, UK

Concito (2010): Concito annual outlook 2010

Connolly, D., Hansen, K. & Vad Mathiesen, B. (2011): Technology and implementation of electric vehicles and plug-in hybrid electric vehicles. Department of Development and Planning, Aalborg University.

DSB (2009): DSB årsrapport 2009

Energistyrelsen (2009): Energistatistik 2009, september 2010.

Energistyrelsen (2010): Danmarks Energifremskrivning, april 2010

Energistyrelsen (2011): Energistatistik 2010.

European Commission – Directorate General for Energy (2009): EU energy trends to 2030 – Update 2009.

European Commission (2010): EU-Transport GHG: Routes to 2050 – Towards decarbonisation of the European Transport Sector by 2050, EU-2010

European Commission (2011): Eurostat Pocketbooks, Energy, transport and environment indicators, 2010 edition

European Expert Group on Future Transport Fuels (2011): Future transport Fuels, 1st Report of the Expert Group: Future Transport Fuels, January 2011

Fietsberaad (2009): Bicycle policies of the European principals: Continuous and integral, Publication number 7, The Netherlands

Hill, N.; Morris, M. and Skinner, I. (2010): SULTAN: Development of an Illustrative Scenarios Tool for Assessing Potential Impacts of Measures on EU Transport GHG

IFEU (2010): Ecopassenger – Environmental methodology and data.

IFEU Heidelberg Öko-Institut IVE / RMCON (2010): Ecotransit - Ecological Transport Information

Incentive Partners (2011): Opgørelse af udlandsandele for lastbiler and turistbusser: Notatudkast udarbejdet af Incentive Partners for Vejdirektoratet, januar 2011.

Infrastrukturkommissionen (2009): Danmarks Transportinfrastruktur – Infrastrukturkommissionens betænkning januar 2008. EU energy trends to 2030 – Update 2009.

JRC, Eucar and Concauwe (2007): Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, WELL-to-WHEELS Report Version 2c, March 2007

Klimakommissionen (2010): Grøn energi – vejen mod et dansk energisystem uden fossile brændsler, 28. september 2010.

Larsen, G. (2007): Det fremtidige danske energisystem – Teknologiscenarier, Teknologirådet.

Pucher, J. & Buehler, R. (2007): Making Cycling Irresistible: Lessons from

The Netherlands, Denmark and Germany. USA.

Regeringen (2011): Vores Energi

Transportministeriet (2010): Tema 2010 – Et værktøj til beregning af transporters energiforbrug og emissioner i Danmark.

Åkerman, J., Isaksson, K., Johansson, J. og Hedberg, L. (2007): Tvågradersmålet i sikte? Scenarier för det svenska energi- och transportsystemet till år 2050, Rapport 5754, Naturvårdsverket

Internetkilder

Dst.dk (2011): Danmarks Statistik, Statistikbanken.

Link: <http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1280>

Ecf.dk (2012): ECF European Cyklist' Federation.

Link: www.ecf.com

Fredereciacykelby.dk (2011): Fredereciacykelby, Cyekscore.

Link: <http://www.fredereciacykelby.dk/CykelScor>

Ingalojligabilresor.nu (2012): Inga lojliga bilresor. Malmø Stad

Link: www.ingalojligabilresor.nu

Shippingefficiency.org (2011): Shipping Efficiency – Information for a more efficient market.

Link: <http://www.shippingefficiency.org/>

Vejdirektoratet.dk (2011): Vejdirektoratet, Persontransport.

Link: <http://www.vejdirektoratet.dk/dokument.asp?page=document&objno=79481>

Check-in.dk (2010): Check-in.dk, Så dygtige er selskaberne til at fylde flyene.

Link: <http://www.check-in.dk/newselement.cfm?nNewsArticleID=31740>

Cph.dk (2008): Københavns Lufthavne CPH, Årsstatistik 2008.

Link: <http://www.cph.dk/CPH/DK/INVESTOR/Trafik/Aarsoversigt/2008.htm>

Sustainablecities.dk (2010): Sustainable cities – a part of the Danish Architecture Centre, Cases. Link: <http://sustainablecities.dk/en/search-criterias/transport>

Virgin-vacations.com (2011): Virgin Vacations – Ask For The World, 11 most bicycle friendly cities in the world.

Link: <http://www.virgin-vacations.com/11-most-bike-friendly-cities.aspx>

Teknologirådets udgivelser 2006 – 2011

Teknologirådets rapporter:

Test dig selv! Vurderinger og anbefalinger vedrørende
anvendelse af medicinsk udstyr til selvtestning
Teknologirådets rapport 2011/5

Drikkevand – rent vand, men hvordan?
Debatoplæg, Teknologirådet 2011/4

Syntesebiologi – debatoplæg
Teknologirådet og Etisk Råd 2011

Handlingsoplæg: Måltrettet forebyggelse af fedme
– mere effekt for pengene.
Teknologirådets rapport 2011/3

Skoler og medier – it-understøttelse af læring.
Teknologirådets rapport 2011/2

E-valg – et valg for fremtiden? (kun elektronisk)
Teknologirådets rapport 2011/1

Bedre styring af Offentlig it (kun elektronisk)
Teknologirådets rapport 2010

Biometri – brug af biometriske teknologier i det danske
samfund.
Teknologirådets rapport 2010/2

Høring om ændringer i landbrugsloven
Teknologirådets rapport 2010/1

Fedme som Samfundsproblem
Teknologirådets rapport 2009

World Wide Views on Global Warming
Teknologirådets rapport 2009 (WWV)

Information Booklet (kun elektronisk)
Teknologirådets rapport 2009 (WWV)
Kan downloades på www.wwwviews.org

Høring om GDA og andre mærker
Teknologirådets rapport 2009/4

Teknologi og marginalisering (kun elektronisk)
Teknologirådets rapport 2009/3

Et enstrengt kommunalt beskæftigelsessystem
Teknologirådets rapport 2009/2

Du bestemmer selv
Teknologirådets rapport 2009/1 (kun elektronisk)

Høring om Klimaændringer og udviklingslande
Teknologirådets rapport 2008/6

Klimarigtigt byggeri – vi kan, hvis vi vil
Teknologirådets rapport 2008/5

Høring om psykiske arbejdsskader
Teknologirådets rapport 2008/4

Sundhedsvæsenets patientklage- og erstatningssystem
Teknologirådets rapport 2008/3

Fremtidens infrastruktur
Teknologirådets rapport 2008/2

Brugernes it-sikkerhed
Analyse af interviewmøde med private brugere samt
anbefalinger fra en arbejdsgruppe sammensat
af Teknologirådet.
Teknologirådets rapport 2008/1

Prioritering i sundhedssystemet
Teknologirådets rapport 2007/5

Lægeordineret heroin
Teknologirådets rapport 2007/4

Biodiversitet 2010
- hvordan når vi målene?
Teknologirådets rapport 2007/3

Det fremtidige danske energisystem
Teknologiscenarier.
Teknologirådets rapport 2007/2.

Ny teknologi i ældreplejen
Debatpakke:
Bedre omsorg - bedre teknologi
Ny teknologi i ældreplejen
Scenarietværkstedet
Teknologirådet maj/2007

Energibehov med potentiale
- danske aktører i spil
Idékatalog om innovationsbehov på energiområdet.
Teknologirådets rapport marts/2007.

It-sikkerhed på tværs af grænser
Anbefalinger fra en arbejdsgruppe under Teknologirådet.
Teknologirådets rapport 2007/1.

Perspektiver ved indførelse af gratis offentlig transport
Teknologirådets rapport 2006/16.

Morgendagens transportbrændstoffer
Danske perspektiver.
Teknologirådets katalog 2006/15.

Nyhedsbrevet "Fra rådet til tinget"

Nr. 281 06/11: Syntesebiologi til debat
Nr. 281 06/11: Synthetic Biology: Challenges and Debates
Nr. 280 05/11: Borgerne om brugerbetaling, ventetidsgaranti og krav til patienterne
Nr. 279 04/11: Klare borgerkrav om klimatilpasning
Nr. 278 04/11: Folkeskolen kan få langt mere ud af it
Nr. 277 03/11: Nedtælling til e-valg
Nr. 276 02/11: Veje til bæredygtig transport
Nr. 275 12/10: Fremtidsbyer er bæredygtige

Teknologidebat Tema

TD2/2011: Borgerinddragelse
TD1/2011: Fedme som samfundsproblem
TD2/2010: It og nye læringstilgange
TD1/2010: Teknologivurdering
TD/2010: Årsberetning 2009
TD4/2009: Biometriske teknologier
TD3/2009: Klima – et job for alle
TD2/2009: Du bestemmer selv

Alle Teknologirådets udgivelser kan læses og hentes gratis fra Rådets hjemmeside www.tekno.dk

Gratis nyhedstjenester:

- Abonner på Teknologirådets elektroniske nyhedsbrev TeknoNyt, der orienterer om hvad der sker i Teknologirådet og i teknologiens verden. Send en mail til teknonyt@tekno.dk
- Abonner på Teknologirådets nyhedsbrev til Folkeetinget "Fra rådet til tinget" ved at sende en mail til rtt@tekno.dk

Dansk transport uden kul og olie - hvordan?

Bilagsdel

Teknologirådet, februar 2012

Forord

I denne bilagsrapport til Dansk transport uden kul og olie – hvordan? findes en række bilag som dokumenterer og uddyber de resultater, som fremgår af hovedrapporten. Bilaget om referencescenariet redegør for datakilder for transportarbejde, energiforbrug, lastfaktorer og belægningsgrader for år 2010. Herudover dokumenteres forudsætningerne for fremskrivningen frem imod 2050 mht. væksten i transportefterspørgsel og energiforbrug. De transportsegmenter der er arbejdet med fremgår af tabeller i dette bilag. Der er et bilag om forudsætninger og dokumentation af teknologiscenariet, ud over det som allerede fremgår af dokumentationen af referencescenariet. Bilaget om virkemidler indeholder således en uddybet gennemgang af hvad virkemidlerne omhandler med henvisninger til de rapporter fra forskningsprojektet EU Transport GHG – Routes to 2050, som oplysninger er hentet fra. Dette bilag udgør dokumentationen af det fossilfri scenarie, ud over det som allerede fremgår af bilag om reference- og teknologiscenariet. Endelig indeholder bilagsrapporten supplerende tabeller og figurer om transport-systemet, flere figurer om energiforbrug og CO2 udslip og supplerende oplysninger om energiøkonomien. Det er de første 3 bilag. Sidst i bilagsrapporten er der et bilag som giver flere eksempler på hvordan transport med cykel kan fremmes.

Det er ikke nødvendigt at læse bilagsrapporten for at forstå hovedrapporten. Bilagene er alene tænkt som information til dem der er særligt interesseret i at se beregningerne nærmere efter i sømmene. Selve modelværktøjet vil være tilgængeligt fra www.tekno.dk.

Teknologirådet, februar 2012

Indholdsfortegnelse

FORORD	5
BILAG 1 TRANSPORT- OG TRAFIKARBEJDE, REFERENCE- OG FOSSILFRI SCENARIER	7
MARKEDSANDELE PERSONTRANSPORT	7
MARKEDSANDELE GODSTRANSPORT	9
BILAG 2 ENERGIFORBRUG OG CO2 UDSLIP - TEKNOLOGISCENARIET OG DET FOSSILFRI SCENARIO	12
2.1 ENERGIFORBRUG OG TRANSPORTBRÆNDSLSANDELE	12
2.2 ANDELEN AF BIOMASSE TIL TRANSPORT I DET SAMLEDE ENERGISYSTEM	18
2.3 SPECIFIKT ENERGIFORBRUG I DET FOSSILFRI SCENARIO	18
2.4 CO2 UDSLIP DETALJERET – TEKNOLOGISCENARIET OG DET FOSSILFRI SCENARIO	19
2.5 CO2-UDSLIP FORDELT PÅ PERSON- OG GODSTRANSPORT	23
BILAG 3 ENERGIØKONOMI I DE TRE SCENARIER	26
3.1 SAMFUNDSØKONOMISKE OMKOSTNINGER, REFERENCESCENARIO 2020 - 2050	26
3.2 TRANSPORTTJENESTER, TEKNOLOGISCENARIET OG DET FOSSILFRI SCENARIO	28
BILAG 4 VIRKEMIDLER	31
4.1 SULTAN MODELLEN	31
4.2 SULTAN MODELLENS KVANTIFICERING AF VIRKEMIDLERNE	35
4.3 PERIODISERING AF VIRKEMIDLER	37
4.4 FØLSOMHEDSANALYSER PÅ UDVALGTE VIRKEMIDLER	38
BILAG 5 REFERENCESCENARIET	42
5.1 INTRODUKTION	42
5.2 AFGRÆNSNING	42
5.3 REFERENCE SCENARIET 2010-2050	43
5.4 DETALJERET DATADOKUMENTATION	51
BILAG 6 DOKUMENTATION AF TEKNOLOGISCENARIET	64
BILAG 7	66
CYKELEKSEMPLER	66
FIGURER OG TABELLER	69

Bilag 1

Transport- og trafikarbejde, reference- og fossilfri scenarier

Fossilfrit scenarie – Index	2010	2020	2030	2040	2050
Personbil	1	1.00	0.99	0.89	0.79
Tog	1	1.36	1.85	2.21	2.57
Bus	1	1.20	1.40	1.58	1.77
Cykel/gang	1	1.76	2.51	3.27	4.02
Fly	1	1.05	1.10	1.15	1.20
Skib	1	0.94	0.90	0.86	0.82
Total	1	1.08	1.18	1.20	1.23

Tabel 1 Udvikling persontransportarbejde 2010-2050, index - Fossilfrit scenarie

Reference scenarie - Index	2010	2020	2030	2040	2050
Personbil	1	1.24	1.52	1.71	1.89
Tog	1	1.03	1.15	1.16	1.18
Bus	1	1.03	1.05	1.06	1.08
Cykel/gang	1	1.00	1.00	1.00	1.00
Fly	1	1.37	1.82	2.13	2.43
Skib	1	1.09	1.20	1.25	1.31
Total	1	1.21	1.46	1.62	1.78

Tabel 2 Udvikling i persontransportarbejde 2010-2050, Reference scenarie

Markedsandele persontransport

Udviklingen i transportmidlernes markedsandele for persontransport for henholdsvis det fossilfri scenarie og reference scenariet fremgår af Tabel 3 og Tabel 4.

Fossilfrit scenarie markedsandele	2010	2020	2030	2040	2050
Personbil	59.8%	55.0%	50.3%	44.3%	38.5%
Tog	8.5%	10.6%	13.3%	15.6%	17.8%
Bus	10.5%	11.5%	12.4%	13.7%	15.1%
Cykel/gang	3.7%	6.0%	7.9%	10.0%	12.1%
Fly	15.7%	15.2%	14.6%	14.9%	15.2%
Skib	1.9%	1.7%	1.5%	1.4%	1.3%

Tabel 3 Persontransport fossilfrit scenarie – markedsandele af transportarbejde (pkm) 2010-2050

Reference markedsandele	2010	2020	2030	2040	2050
Personbil	59.8%	61.3%	62.2%	62.8%	63.2%
Tog	8.5%	7.2%	6.7%	6.1%	5.6%
Bus	10.5%	8.9%	7.5%	6.9%	6.3%
Cykel/gang	3.7%	3.1%	2.5%	2.3%	2.1%
Fly	15.7%	17.8%	19.5%	20.5%	21.4%
Skib	1.9%	1.7%	1.6%	1.5%	1.4%

Tabel 4 Persontransport referencescenarie – markedsandele af transportarbejde (pkm) 2010-2050

Fossilfrit scenarie – Index	2010	2020	2030	2040	2050
Lastbil	1	1.07	1.16	1.18	1.20
Varebil	1	1.13	1.30	1.39	1.48
tog (goods)	1	1.75	2.67	3.52	4.37
Fly (goods)	1	1.00	1.03	1.16	1.29
Skib (goods)	1	1.05	1.13	1.29	1.45
Total	1	1.06	1.16	1.28	1.40

Tabel 5 Udvikling i godstransportarbejde 2010-2050, Index, Fossilfrit scenarie

Reference scenarie - Index	2010	2020	2030	2040	2050
Lastbil	1	1.25	1.56	1.75	1.94
Varebil	1	1.24	1.55	1.73	1.92
tog (goods)	1	1.20	1.45	1.61	1.77
Fly (goods)	1	1.25	1.57	1.78	1.98
Skib (goods)	1	1.25	1.56	1.76	1.95
Total	1	1.25	1.56	1.75	1.95

Tabel 6 Udvikling i godstransportarbejde 2010-2050, Index, Referencescenarie

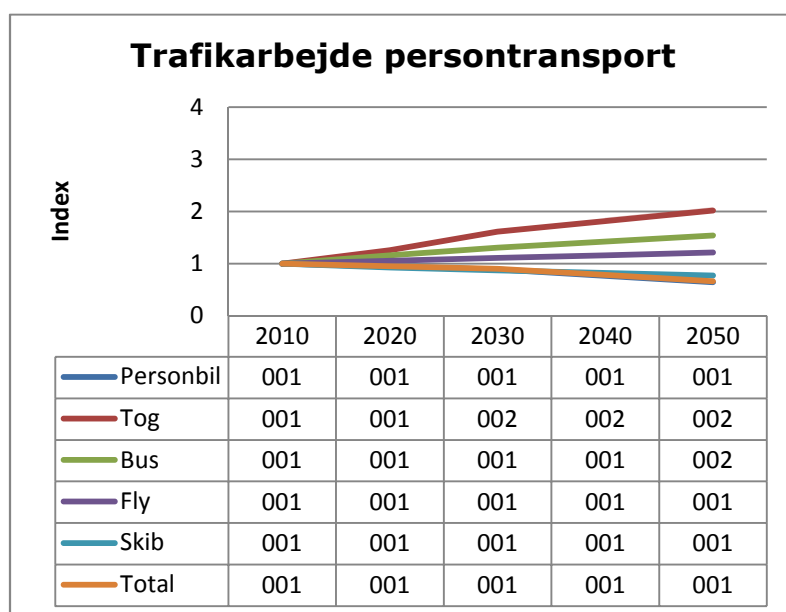
Markedsandele godstransport

Fossilfrit scenarie markedsandele	2010	2020	2030	2040	2050
Lastbil	26.4%	26.5%	26.4%	24.3%	22.5%
Varebil	4.9%	5.2%	5.5%	5.3%	5.1%
tog (goods)	0.8%	1.2%	1.7%	2.1%	2.3%
Fly (goods)	0.8%	0.8%	0.8%	0.8%	0.8%
Skib (goods)	67.1%	66.3%	65.6%	67.6%	69.3%

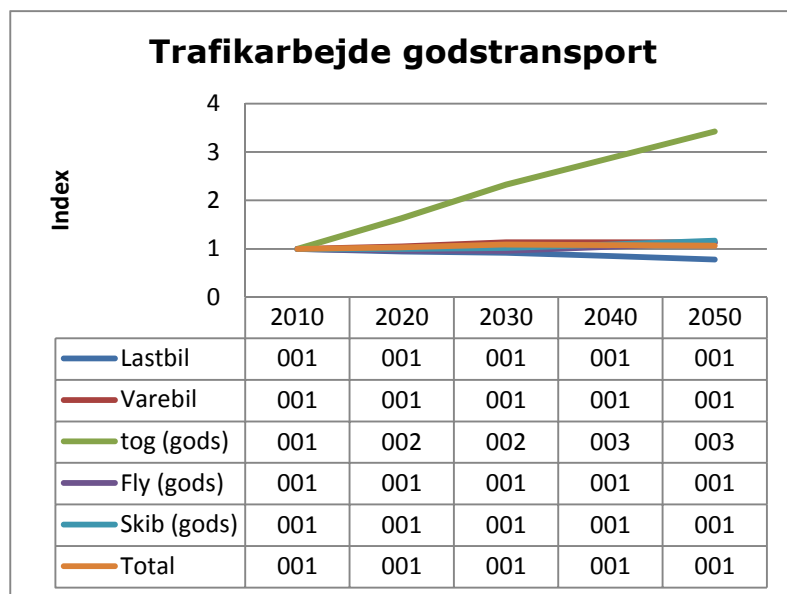
Tabel 7 Godstransport fossilfrit scenarie – markedsandele af transportarbejde (tkm) 2010-2050

Reference markedsandele	2010	2020	2030	2040	2050
Lastbil	26.4%	26.4%	26.4%	26.4%	26.3%
Varebil	4.9%	4.9%	4.9%	4.8%	4.8%
tog (goods)	0.8%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%
Fly (goods)	0.8%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%
Skib (goods)	67.1%	67.1%	67.2%	67.2%	67.3%

Tabel 8 Godstransport reference scenarie – markedsandele af transportarbejde (tkm.) 2010-2050



Figur 1 Trafikarbejde persontransport 2010-2050 fossilfrit scenarie



Figur 2 Trafikarbejde godstransport 2010-2050 fossilfrit scenarie

Belægningsgrader

I Tabel 9, Belægningsgrader fossilfrit scenarie 2010-2050 ses belægningsgraderne for transportmidler i det fossilfrie scenarie.

Belægningsgrader	2010	2020	2030	2040	2050
Persontransport					
Personbil	1,73	1,82	1,93	2,03	2,13
Tog (national)	40%	42%	44%	46%	48%
Tog (international)	45%	47%	50%	52%	54%
Bus (national)	26%	27%	29%	30%	31%
Bus (international)	70%	74%	77%	81%	84%
Fly (indenrigs)	55%	55%	55%	55%	55%
Fly (udenrigs)	82%	82%	82%	82%	82%
Skib (national)	40%	40%	40%	40%	40%
Skib (International)	50%	50%	50%	50%	50%
Godstransport					
Lastbil (national)	42%	47%	53%	58%	63%
Lastbil (international)	40%	45%	50%	55%	60%
Varebil	48%	52%	55%	59%	62%
Tog (national)	37%	39%	42%	44%	46%
Tog (International)	37%	39%	42%	44%	46%
Fly (national)	60%	62%	65%	67%	69%
Fly (International)	60%	62%	65%	67%	69%
Skib (national)	45%	49%	53%	57%	61%
Skib (international)	55%	60%	65%	69%	74%

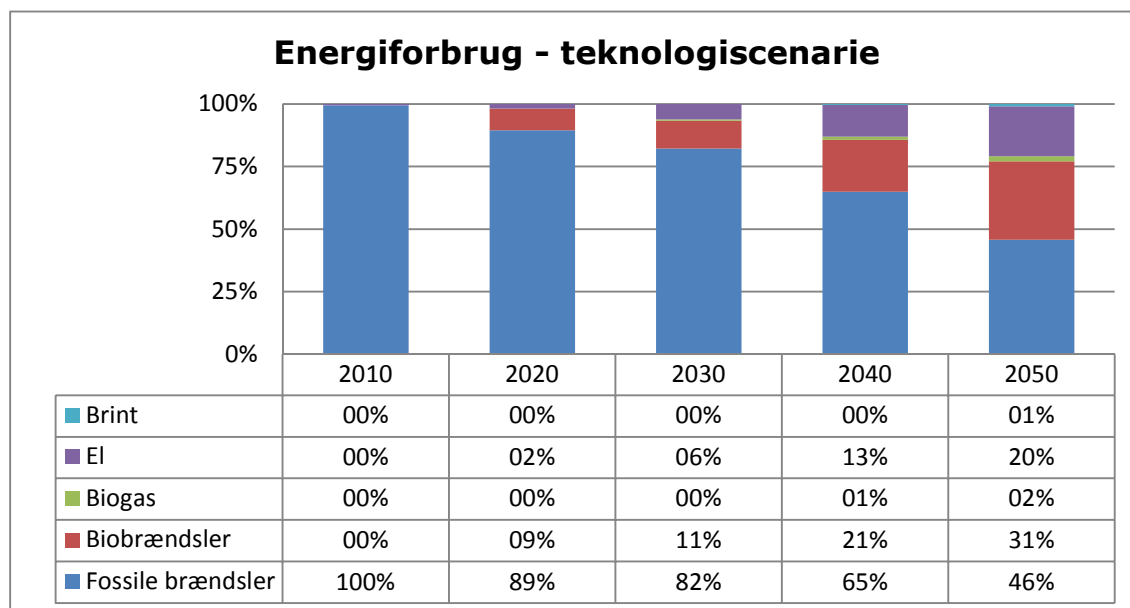
Tabel 9 Belægningsgrader fossilfrit scenarie 2010-2050

Bemærk at belægningsgrad for bil er opgjort som gennemsnitligt antal personer. Der er altså i gennemsnit 1,73 personer i bilerne i 2010 og 2,13 personer i bilerne i 2050. For tog og alle andre transportmidler, hvor der i forvejen transporteres mange personer eller gods, opgøres belægningsgrad i %.

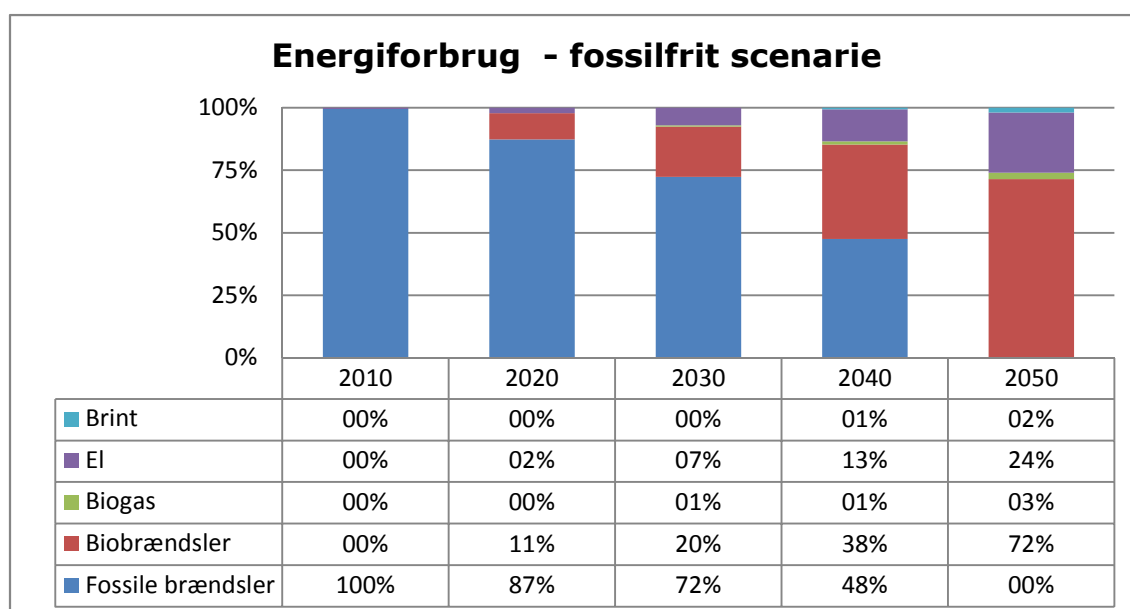
Bilag 2

Energiforbrug og CO2 udslip - teknologiscenariet og det fossilfri scenarie

2.1 Energiforbrug og transportbrændselsandele



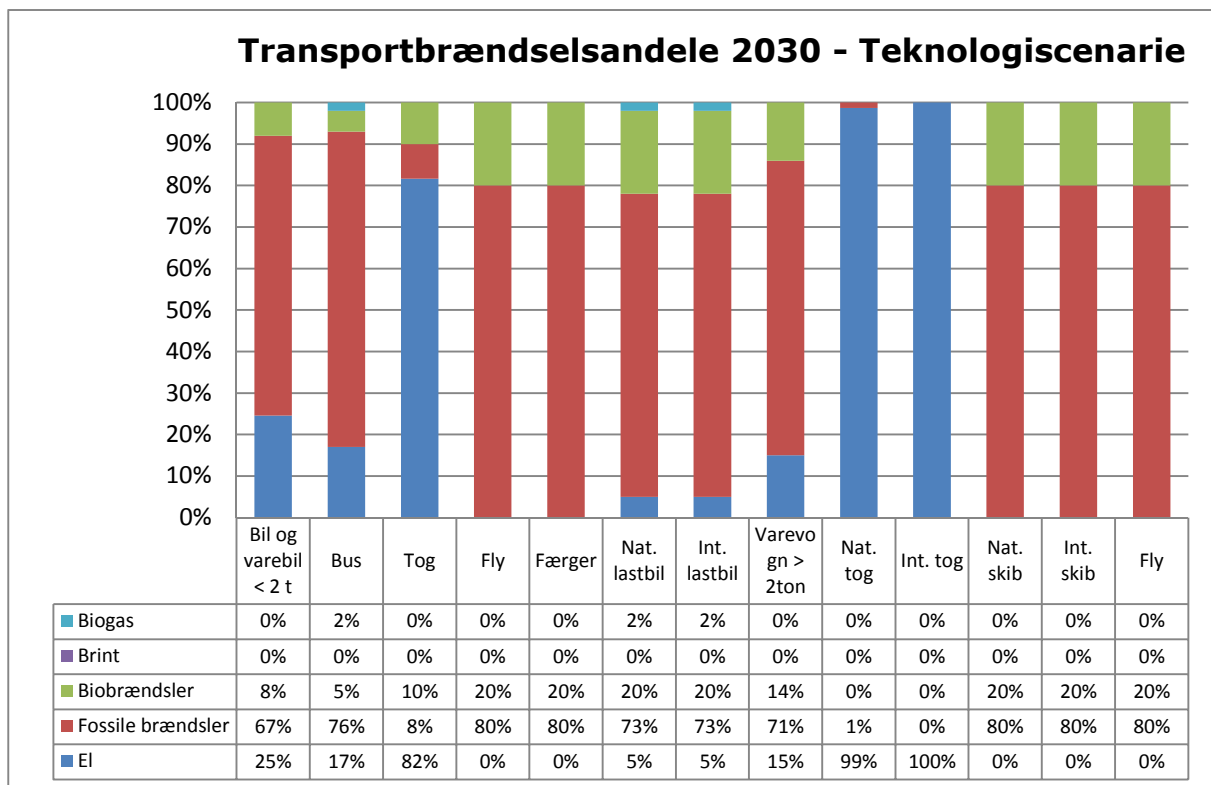
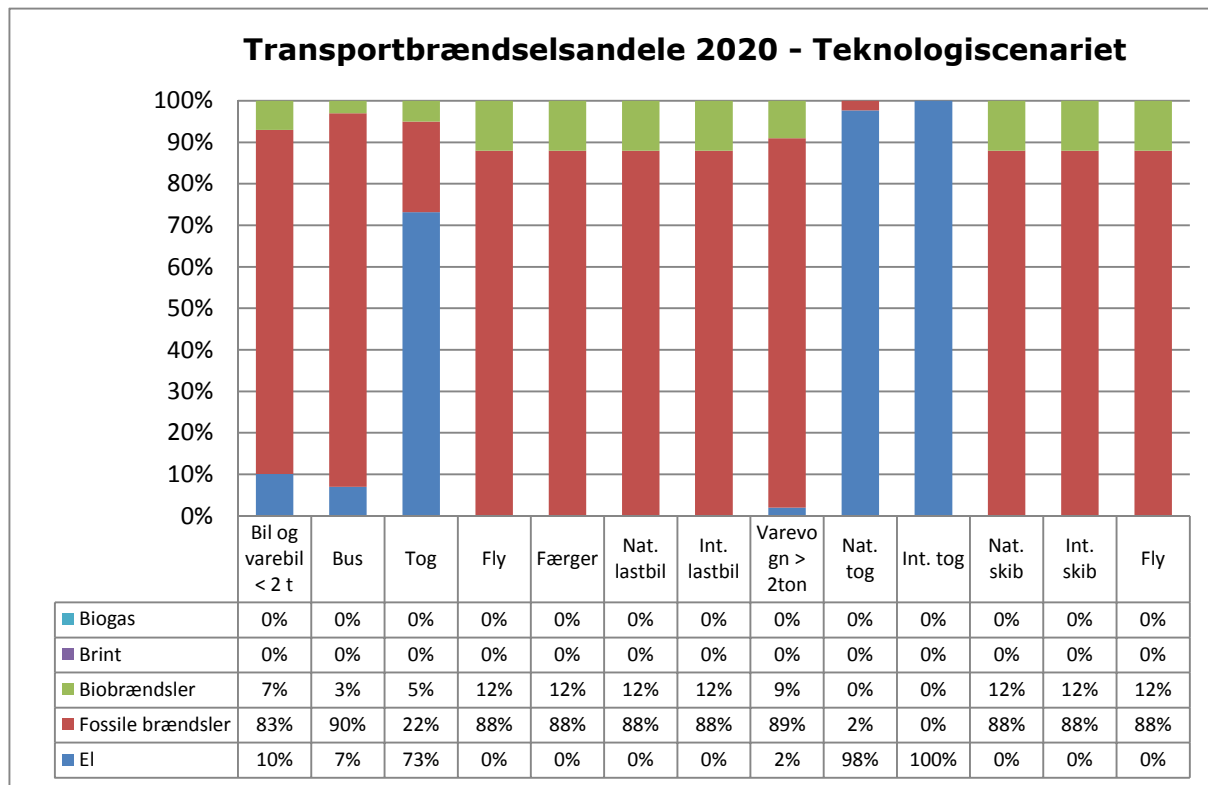
Figur 3 Transportdrivmidler, andele af samlet energiforbrug 2010-2050, Teknologiscenariet

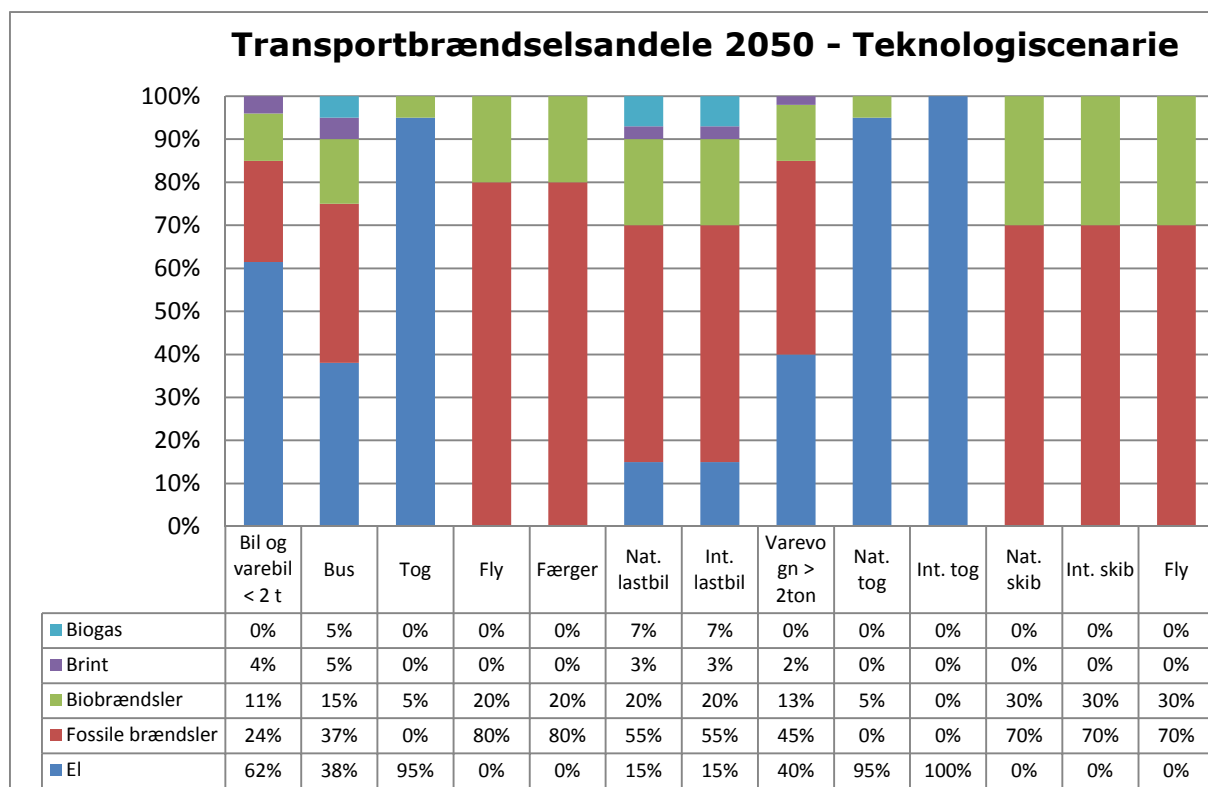


Figur 4 Transportdrivmidler 2010-2050, Fossilfrit scenarie

Transportbrændselsandele Teknologiscenariet 2020 – 2050

Transportbrændselsandele viser andelen af transportarbejdet (pkm/tkm) som udføres af forskellige drivmidler for de enkelte transportmidler.





Figur 5 Transportbrændselsandele Teknologiscenarie 2020-2050, andele af transportarbejdet for persontransport og gods-transport som udføres af forskellige drivmidler. BTL (biomass to liquids) dækker over en vifte af biobrændsler

Transportbrændselsandele det fossilfri scenarie 2020 – 2050

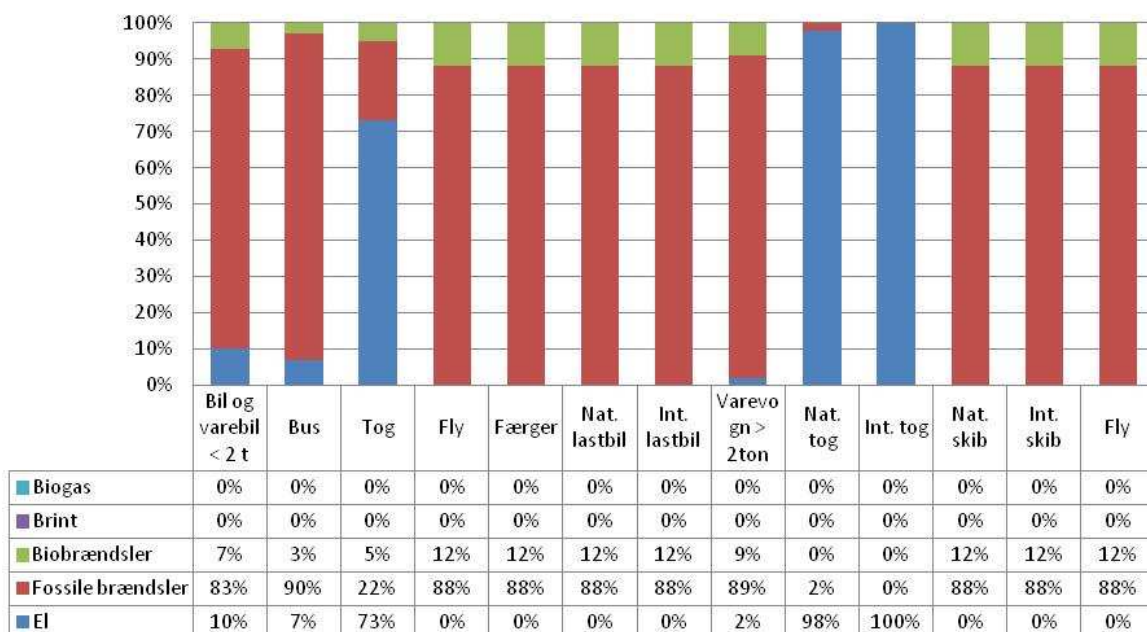
Kigger man nærmere på, hvordan brændselsandelene fordeles på forskellige transportmidler i det fossil-fri scenarie, fremgår det af Tabel 10, at energiforbruget til både person- og godstransport med fly og færge i 2050 dækkes 100 % af biobrændsler. Andre transportmidler kan teknologisk udnytte flere forskellige typer transportbrændsler. El-teknologier er primært anvendelige i lette køretøjer, herunder personbiler og varebiler samt til tog. Togdriften er (næsten) helt elektrificeret i 2050, hvor person- og godstransportarbejdet med tog dækkes stort set 100% af el. I 2050 dækker biobrændsler ca. 5 % af person- og godstransportarbejdet på de nationale strækninger. Dette skyldes at det med stor sandsynlighed ikke vil kunne betale sig at elektrificere mindre nationale strækninger.

Energiforbruget til personbiltransport dækkes for ca. 80 % af transportarbejdet af el i 2050, mens bussernes persontransport har en andel på knap 50 % og biobrændsler dækker en anden stor andel (ca. 40 %). Varevogne forventes at få dækket en stor del af energiforbruget med el (ca. 40 %) i 2050 (til transport over kortere strækninger), mens biobrændsler tegner sig for godt halvdelen (ca. 50 %) af varevognenes energiforbrug. Lastbiler kører i overvejende grad på biobrændsler (ca. 70 %) og i mindre grad på el (lidt under 20 %) samt på en lille del biogas og brint (hhv.ca. 7 % og ca. 6 %) (Tabel 10).

2020	Per- sonbil	Bus	Tog	Fly	Fær- ger	Nat. lastbil	Int. lastbil	Vare- vogn	Nat. tog	Int. tog	Nat. skib	Int. skib	Fly
Biogas	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Brint	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Biobrænds- ler	7%	3%	5%	12 %	12%	12%	12%	9%	0%	0%	12%	12%	12%
Fossile brændsler	83%	90 %	22 %	88 %	88%	88%	88%	89%	2%	0%	88%	88%	88%
El	10%	7%	73 %	0%	0%	0%	0%	2%	98%	100 %	0%	0%	0%
2030	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Biogas	0%	2%	0%	0%	0%	2%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Brint	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Biobrænds- ler	8%	5%	10 %	20 %	20%	20%	20%	14%	0%	0%	20%	20%	20%
Fossile brændsler	67%	76 %	8%	80 %	80%	73%	73%	71%	1%	0%	80%	80%	80%
El	25%	17 %	82 %	0%	0%	5%	5%	15%	99%	100 %	0%	0%	0%
2050	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Biogas	0%	7%	0%	0%	0%	7%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Brint	7%	5%	0%	0%	0%	6%	6%	7%	0%	0%	0%	0%	0%
Biobrænds- ler	12%	43 %	5%	100 %	100 %	71%	71%	52%	5%	0%	100%	100 %	100 %
Fossile brændsler	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
El	81%	45 %	95 %	0%	0%	17%	17%	41%	95%	100 %	0%	0%	0%

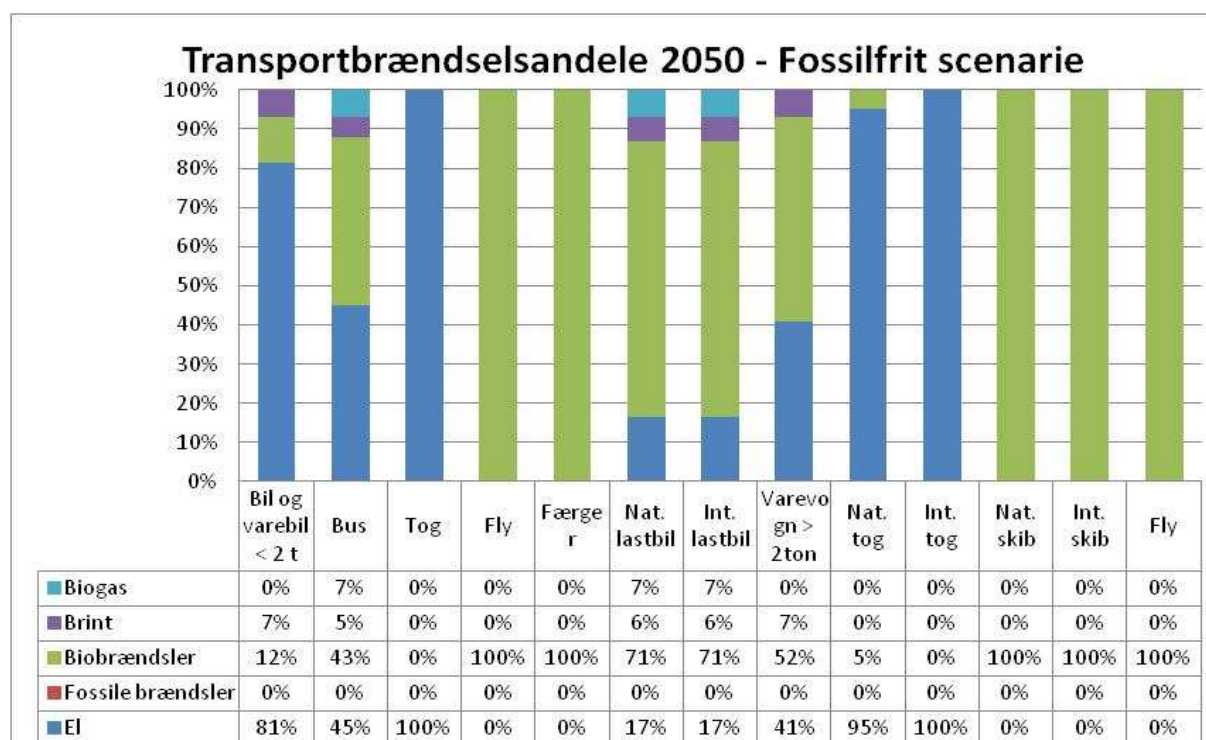
Tabel 10 Transportbrændselsandele 2020-2050 Fossilfrit scenarie, andele af transportarbejdet for persontransport

Transportbrændselsandele 2020 - Fossilfrit scenarie



Transportbrændselsandele 2030 - Fossilfrit scenarie

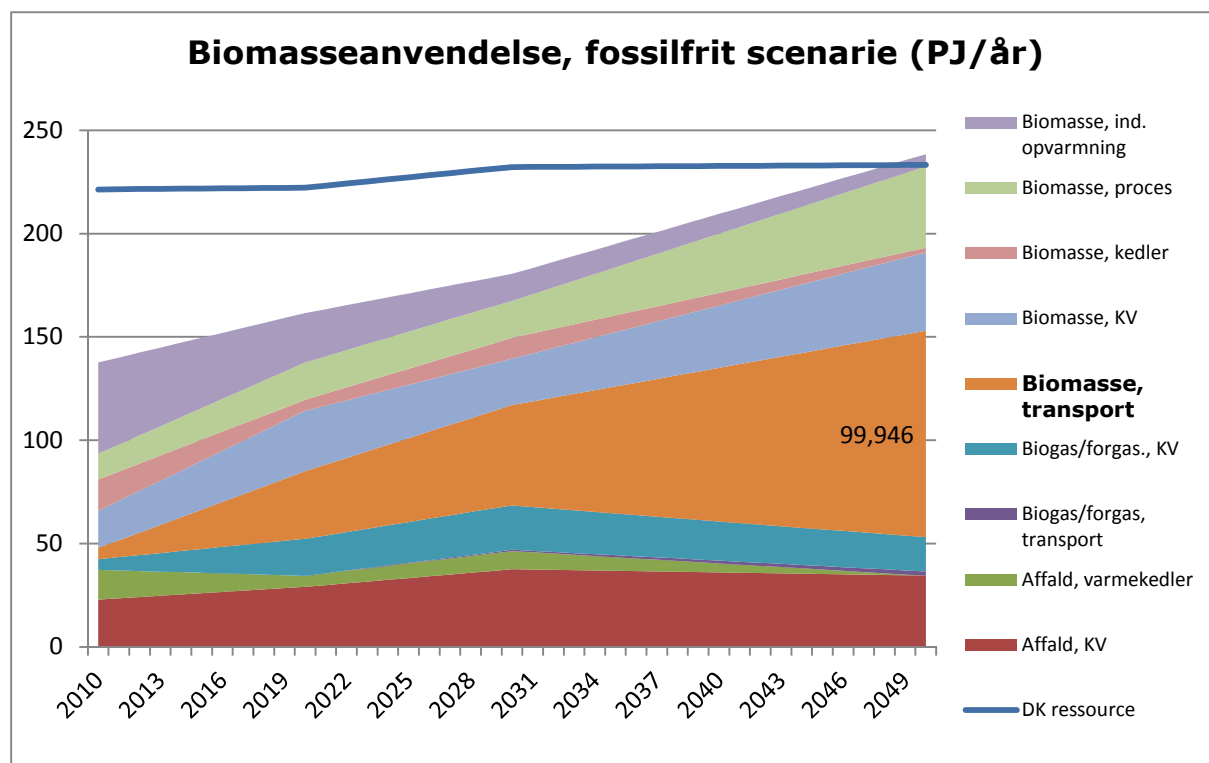




Figur 6 Transportbrændselsandele Fossilfri scenarie 2020-2050, andele af transportarbejdet for persontransport og gods-transport som udføres af forskellige drivmidler. BTL (biomass to liquids) dækker over en vifte af biobrændsler

2.2 Andelen af biomasse til transport i det samlede energisystem

Biomasseforbruget i det fossilfri scenarie



Figur 7 Biomasseforbrug fossilfrit scenarie

Biomasseanvendelse i perioden 2010-2050 for hele energisystemet. Data for andre sektorer end transport er taget fra klimakommissionens fremtidsforløb A (Klimakommissionen, 2010). Den potentielle mængde biomasse som er tilgængelig til transport (den resterende del når andre sektorer er forsynet i fremtidsforløb A) vurderes at være ca. 100PJ. Den blå streg repræsenterer den totale mængde biomasse som er til rådighed til energiformål fra indenlands produktion. Det ses at hele biomassepotentialet udnyttes i det fossilfri scenarie. 100 PJ biomasse svarer til ca. 60 PJ biobrændsel men afhænger af sammensætningen af biobrændsler.

2.3 Specifikt energiforbrug i det fossilfri scenarie

Tabel 11 viser udviklingen i transportmidlernes energiforbrug/km. Der sker en væsentlig energieffektivisering for alle transportmidlerne i perioden 2010-2050. De væsentligste energieffektiviseringer ses for personbiler, hvor energiforbruget pr km i 2050 er reduceret til under en femtedel af niveauet i 2010, fly har mere end halveret energiforbruget, det samme har lastbiler, og varebilers energiforbrug lander på knap en tredjedel af niveauet i 2010. Det skal her noteres at reduktionen i det specifikke energiforbrug skyldes en kombination af mere effektive traditionelle ICE teknologier og introduktionen af nye teknologier herunder rene el- og hybridløsninger. For transport med fly og skib er der dog kun tale om førstnævnte.

Det fossile frie scenarie

	2010	2020	2030	2040	2050
Personbil	2.69	1.79	0.99	0.74	0.48
Tog	46	38	34	30	26
Bus	11.9	10.5	9.0	8.1	7.1
Fly	235	215	175	139	103
Skib	1557	1464	1315	1148	981
Lastbil	16.3	14.8	12.1	9.9	7.6
Varebil	4.8	4.1	3.0	2.3	1.5
tog (gods)	106	96	92	87	83
Fly (gods)	323	295	241	195	148
Skib (gods)	3269	2989	2615	2246	1878

Tabel 11 Specifikt energiforbrug persontransport og godstransport (MJ/km), 2010-2050

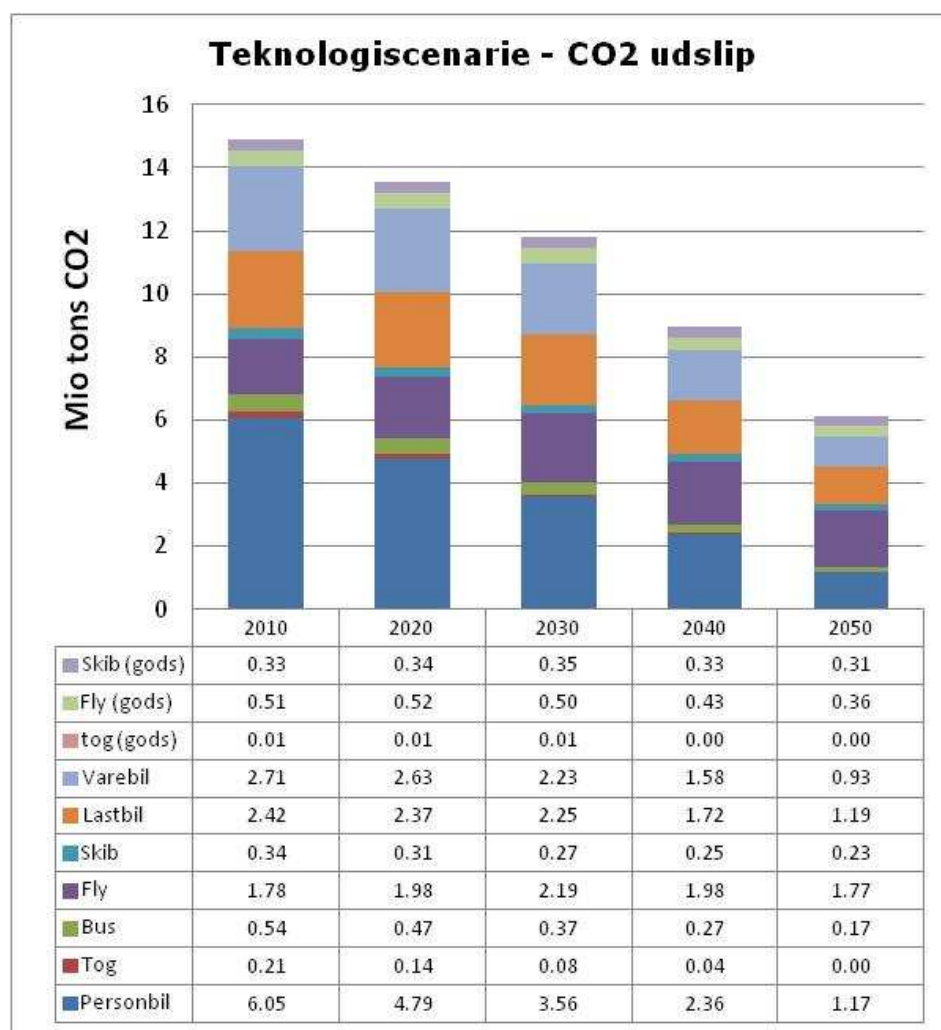
I tabel 12 ses udviklingen i de forskellige transportmidlers energieffektivisering, her i forhold til transportarbejdet. Altså hvor meget energi der bruges til at transportere personer eller gods. Her ses den kraftige energieffektivisering også, men den er knap så høj som målt for de enkelte transportmidlers energieffektivisering. Sammenlignet med tabel 11, energiforbrug i forhold til trafikarbejdet, ses her en større relativ reduktion. Det skyldes stigende belægningsgrader i perioden 2010-2050.

	2010	2020	2030	2040	2050
Personbil	1.56	1.03	0.57	0.40	0.22
Tog	0.38	0.30	0.26	0.21	0.17
Bus	0.80	0.72	0.62	0.52	0.41
Fly	1.75	1.60	1.31	1.04	0.78
Skib	2.75	2.54	2.24	1.94	1.63
Lastbil	1.65	1.49	1.21	0.84	0.47
Varebil	10	8.5	6.3	4.4	2.4
Tog (gods)	0.31	0.28	0.26	0.22	0.19
Fly (gods)	10.8	9.9	8.1	6.2	4.3
Skib (gods)	0.09	0.08	0.07	0.06	0.04

Tabel 12 Specifikt energiforbrug persontransport og godstransport (Mj/pkm-tkm), 2010 – 2050

2.4 CO2 udslip detaljeret – teknologiscenariet og det fossile frie scenarie

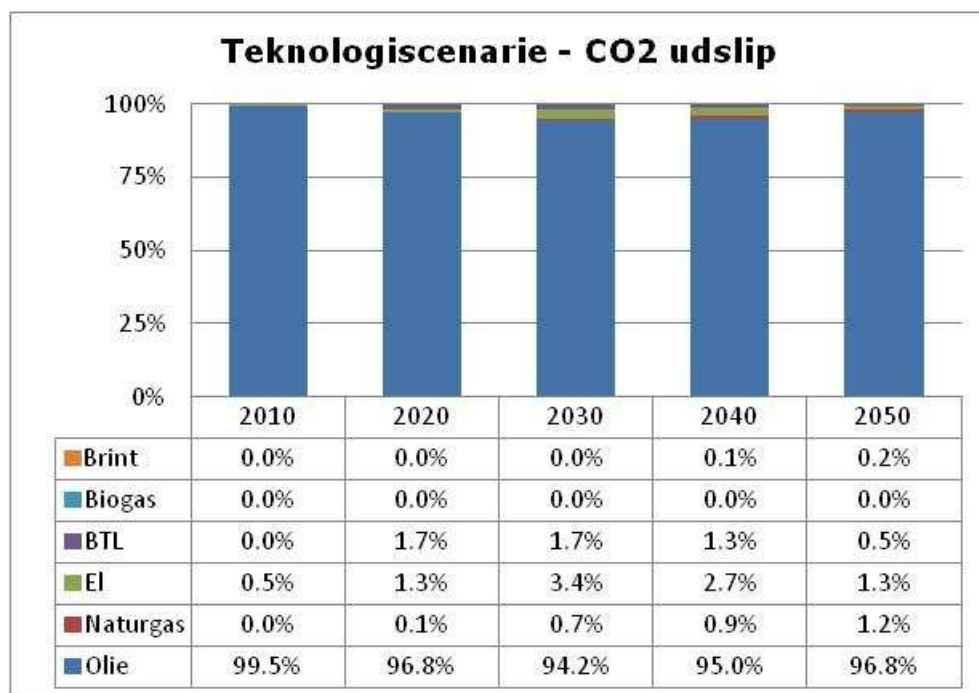
I teknologiscenariet bliver der implementeret en række energieffektive teknologier over perioden. Det giver en reduktion i CO2 udslip fra danskernes transport, så der i 2050 udledes omkring 6 mio. ton CO2 – en reduktion på knap 60 % i forhold til niveauet omkring 17 mio. tons i 2010.



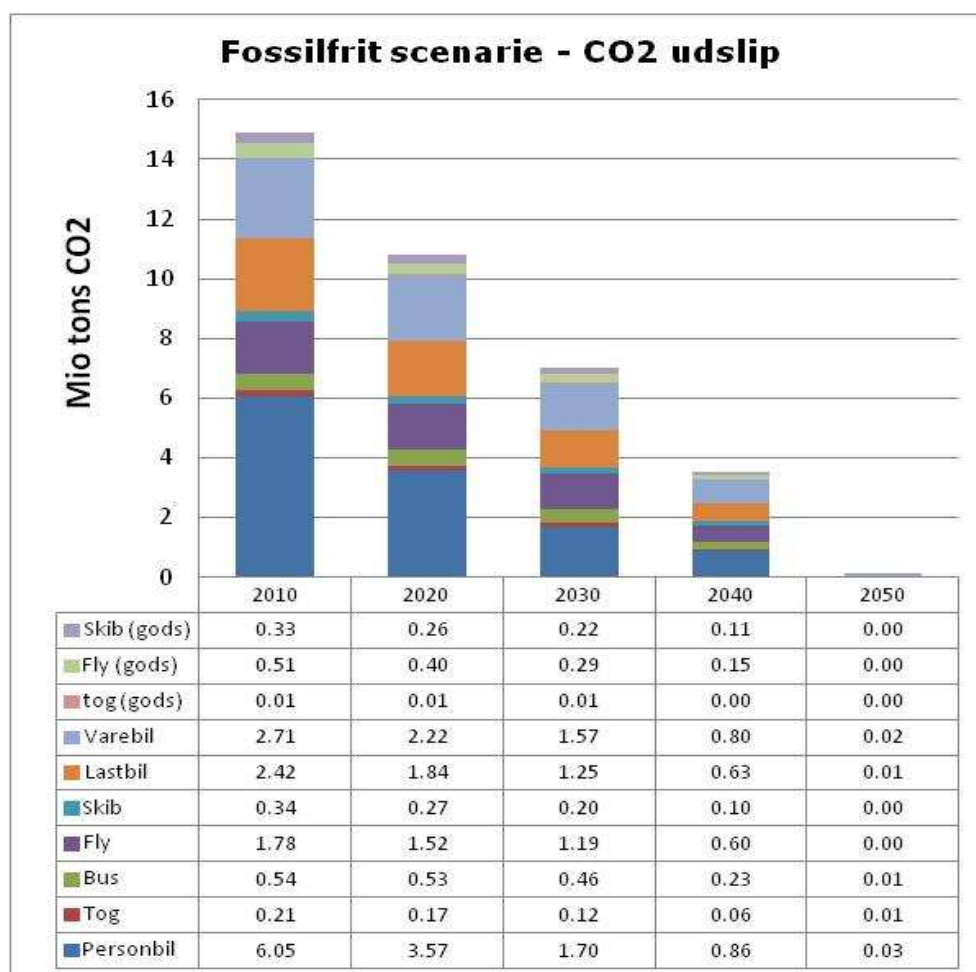
Figur 8 CO2 udslip teknologiscenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler

Figur 8 viser, at personbilernes andel af udslippet halveres over perioden 2010-2050. CO2 udslippet stiger for alle transportmidler over hele perioden, og i størst grad for fly og lastbiler. Dette skyldes at der i teknologiscenariet ses en markant vækst i flyrejser og lastbiltransport (jf. afsnit om transportarbejde 2010-2050, bemærk at væksten i transportarbejdet er den samme i teknologiscenariet som for referencescenariet.).

Figur 9 viser teknologiscenariets CO2 udslip fordelt på brændsler.

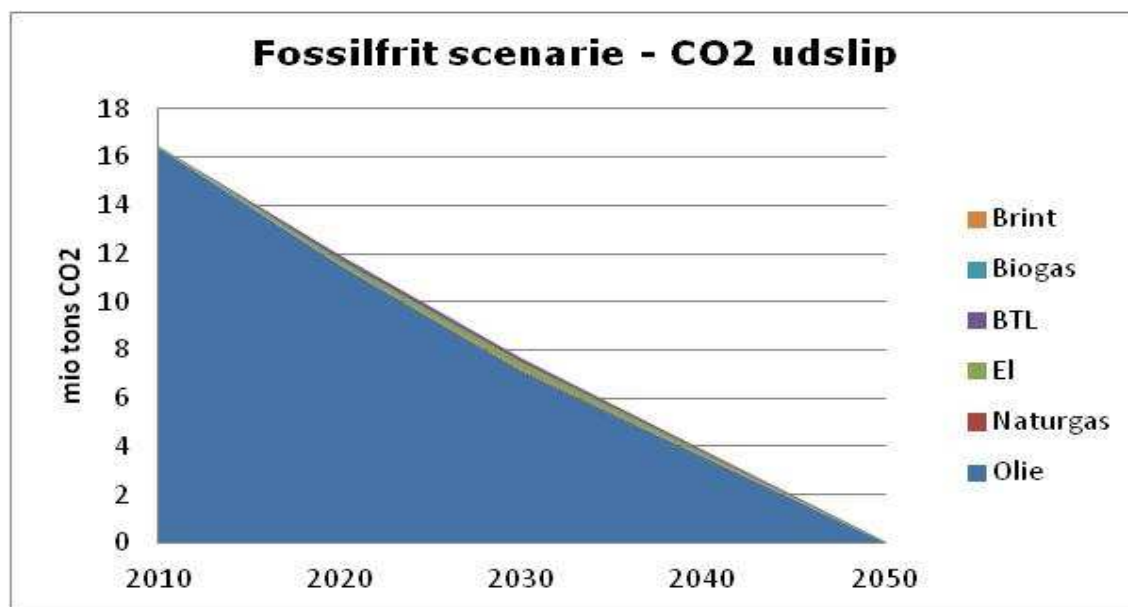


Figur 9 CO2 udledning fordelt på brændsler 2010-2050 teknologiscenariet

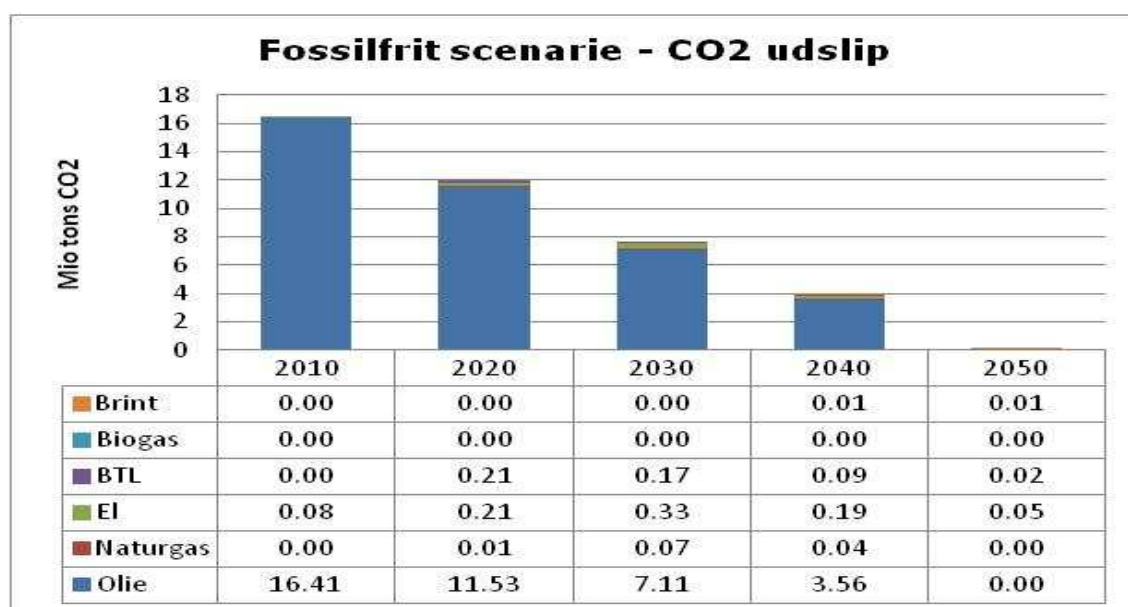


Figur 10 CO2 udslip fossilfrit scenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler

I det fossilfrie scenarie reduceres CO₂ udslippet yderligere. Figur 9 viser fordelingen af de forskellige transportmidlers CO₂ udslip fra 2010 til 2050. I 2050 er det samlede CO₂ udslip knap 1 % af det samlede udslip i 2010 – svarende til ca. 0,1 mio. ton CO₂ – som ikke stammer fra transporten, men fra produktionen af elektricitet og biobrændsler. Af samme grund er det også primært de transportmidler, som bruger de største andele af biobrændsler og el, der har de største andele af CO₂ udslippet.

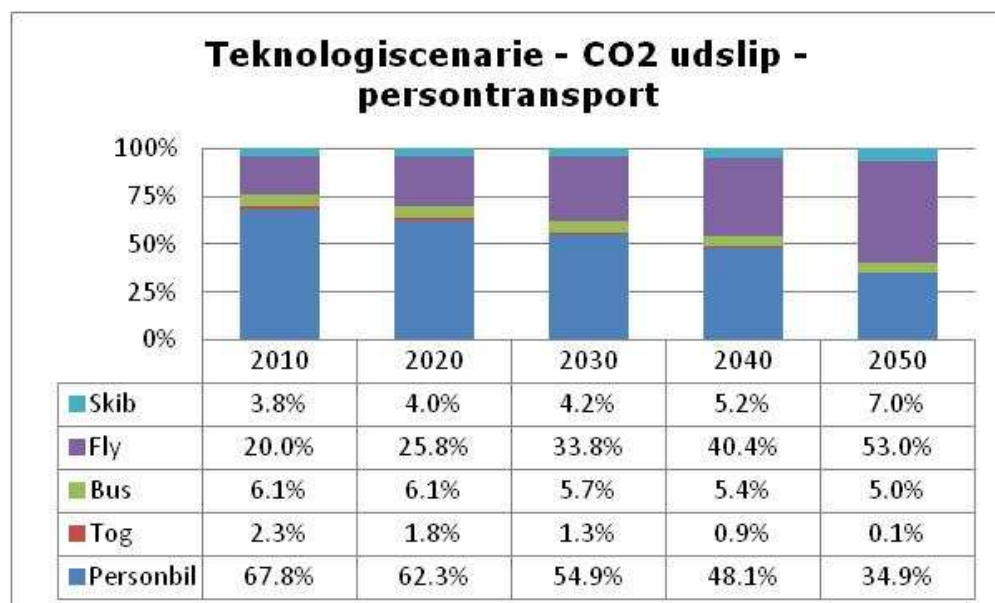


Figur 11 CO₂ udslip fossilfrit scenarie 2010-2050, fordeling på brændsler

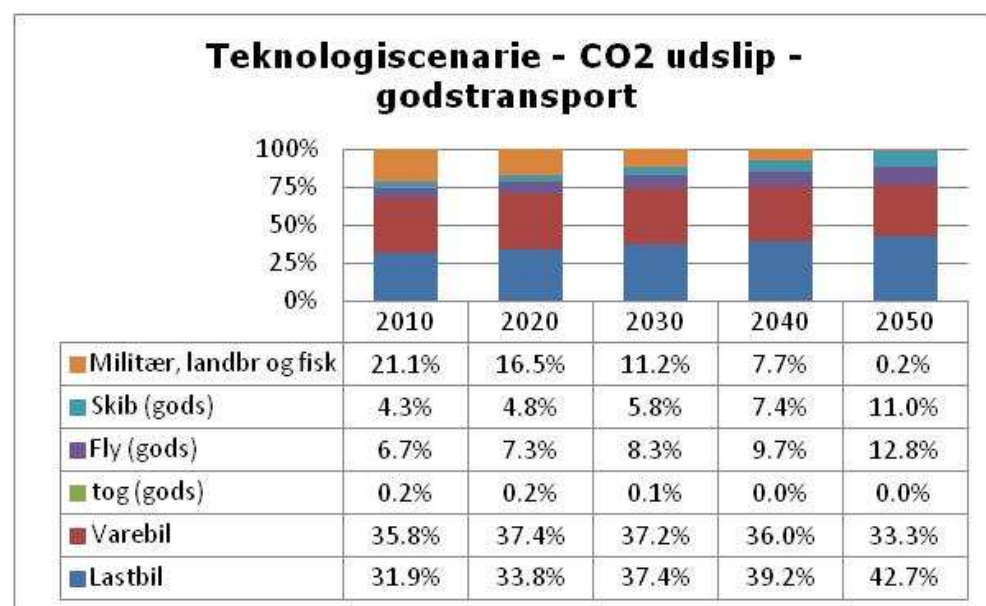


Figur 12 CO₂ udslip fossilfrit scenarie 2010-2050, fordeling på brændsler (BTL = Biobrændsler)

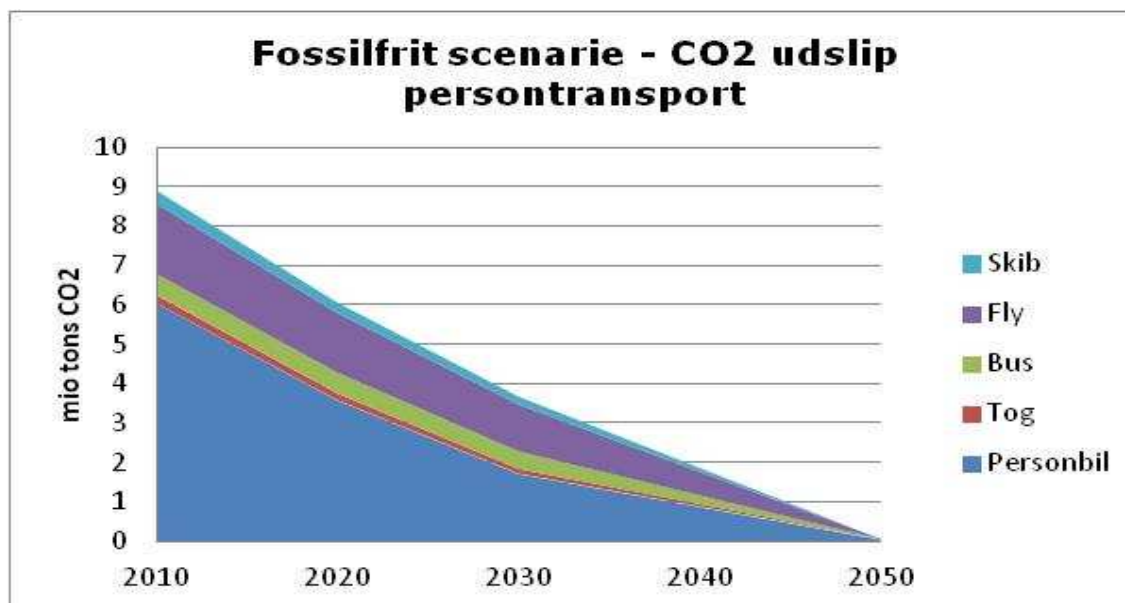
2.5 CO2-udslip fordelt på person- og godstransport



Figur 13 CO2 udslip teknologiscenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler

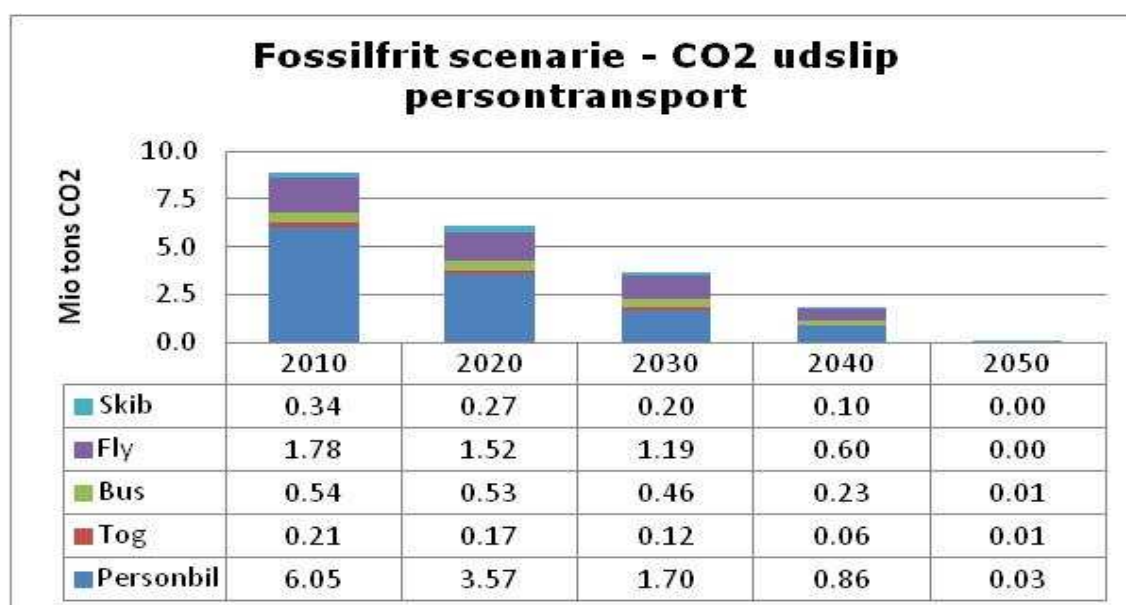


Figur 14 CO2 udslip teknologiscenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler



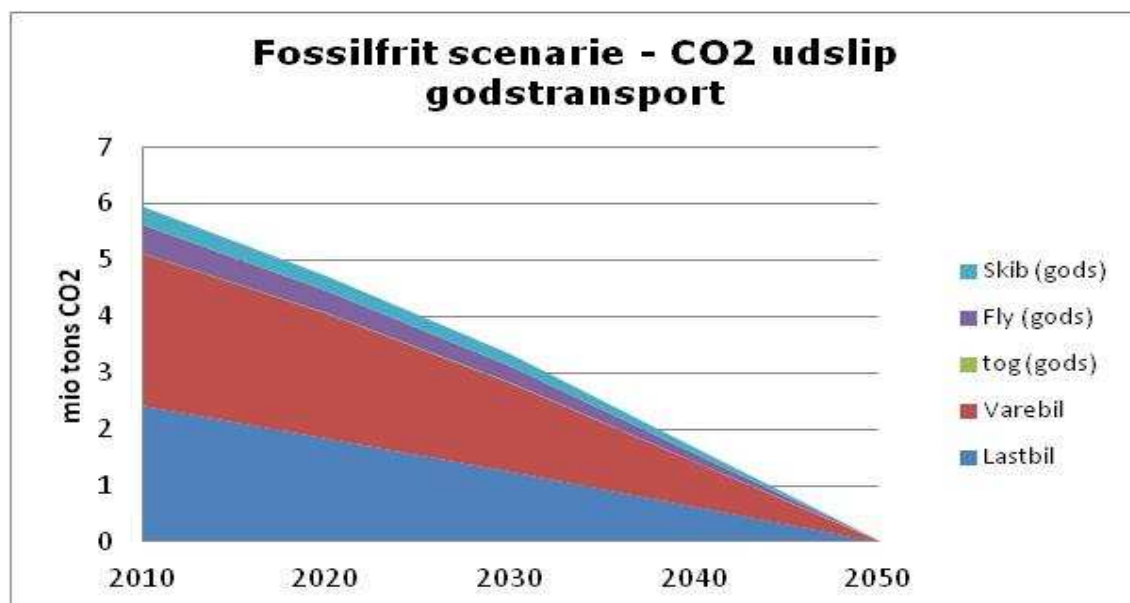
Figur 15 CO2 udslip fossilfrit scenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler

Når man ser på persontransportens CO2 udslip fordelt på de forskellige transportmidler i det fossilfrie scenarie ses det, at personbiltransporten i 2050 udgør den største andel af CO2 udledningen med 58 %. Dernæst kommer togenes og bussernes andel af udledningen med hhv. 19 % og 13 %.

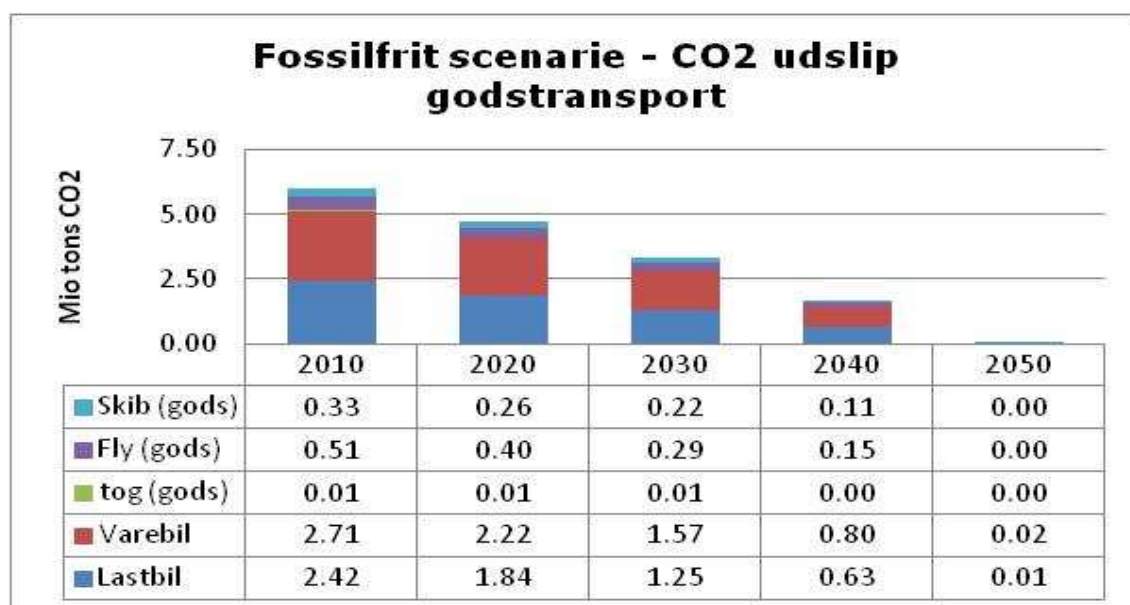


Figur 16 CO2 udslip fossilfrit scenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler

Godstransportens CO2 udslip fordelt på de forskellige transportmidler viser, at de største CO2 udslip kommer fra varebilerne og lastbilernes CO2 udslip med hhv. 57 % og 21 % (jf. Figur 17).



Figur 17 CO2 udslip fossilfrit scenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler

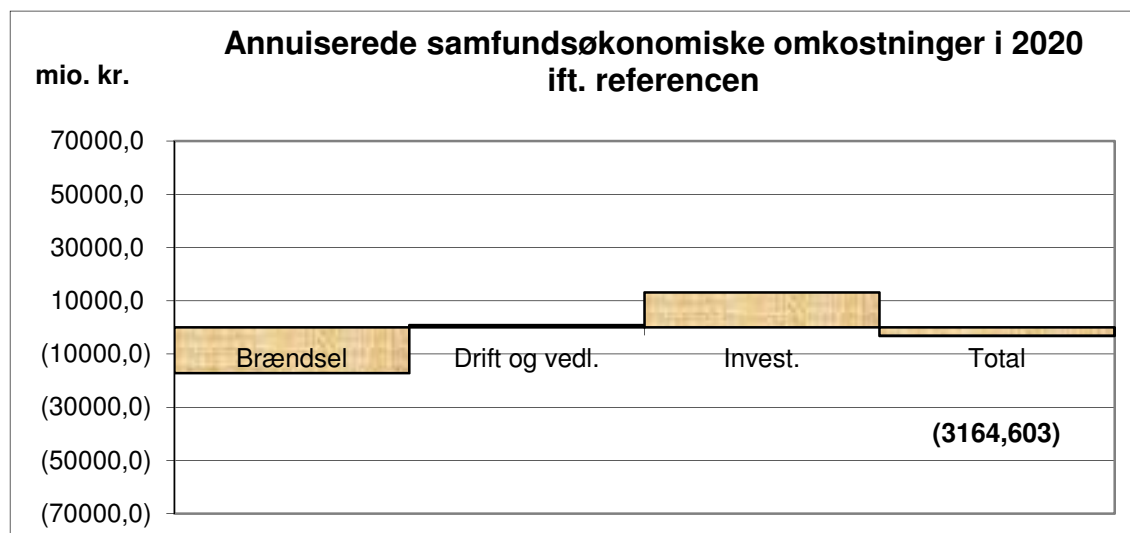


Figur 18 CO2 udslip fossilfrit scenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler

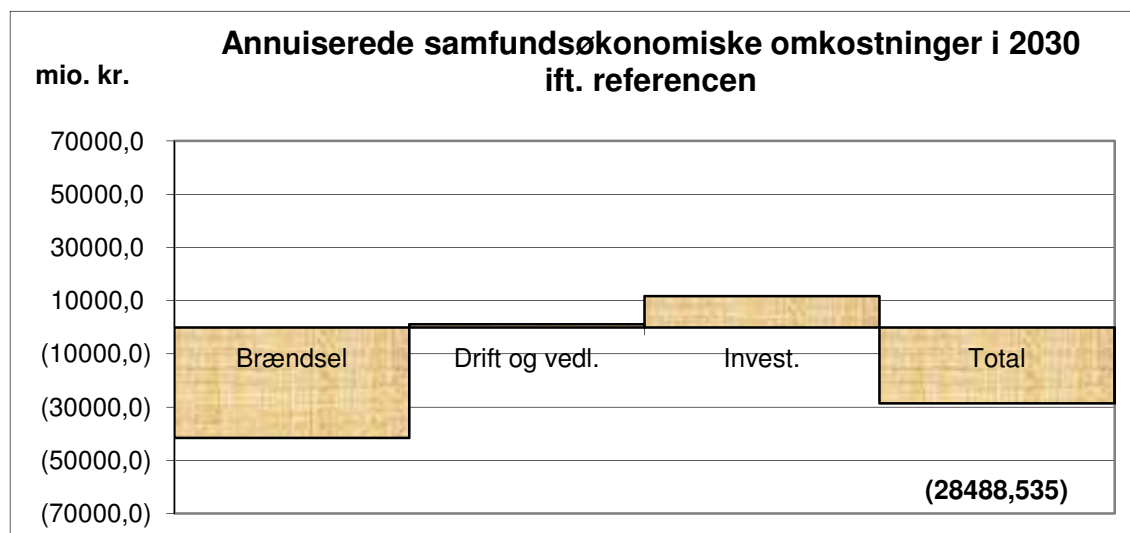
Bilag 3

Energiøkonomi i de tre scenarier

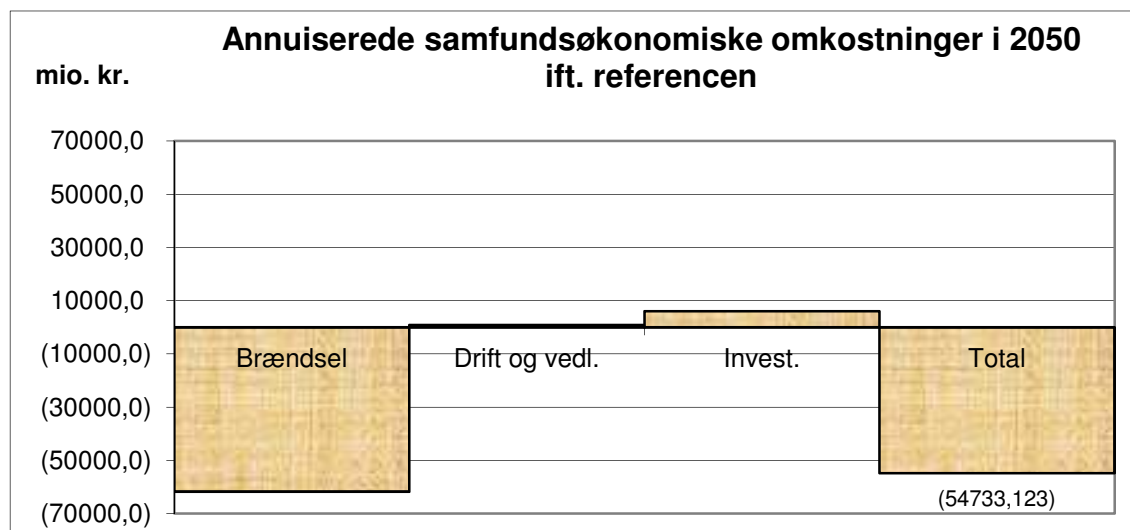
3.1 Samfundsøkonomiske omkostninger, referencescenarie 2020 - 2050



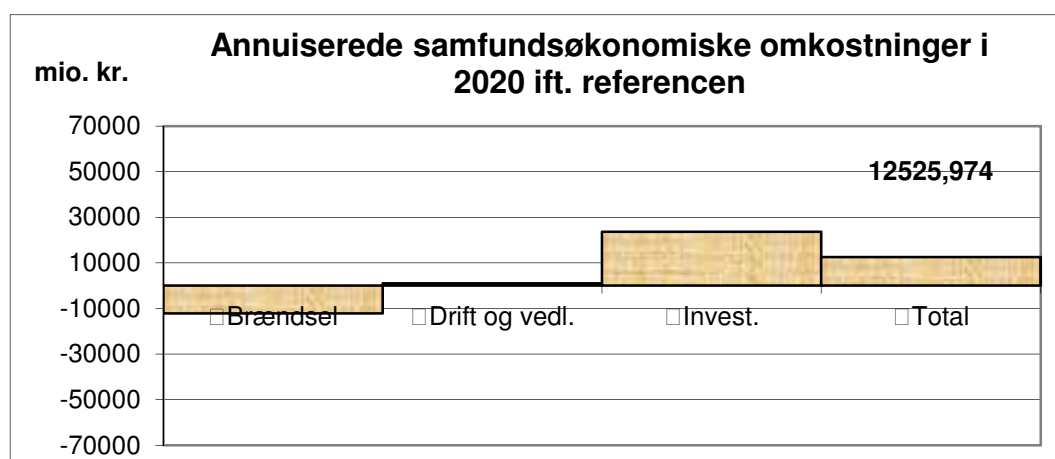
Figur 19 Annuiserede samfundsøkonomiske omkostninger i Fossilfrit scenarie i 2020 ift. reference



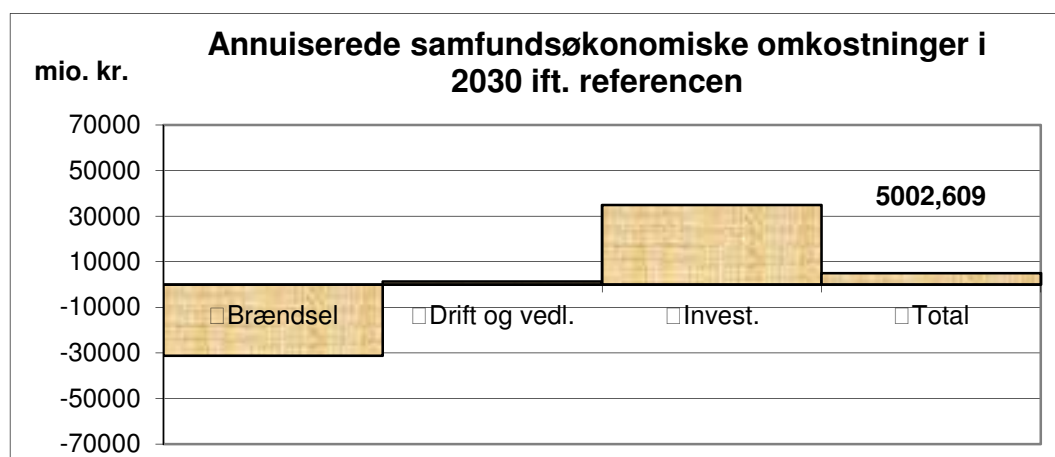
Figur 20 Annuiserede samfundsøkonomiske omkostninger i Fossilfrit scenarie i 2030 ift. reference



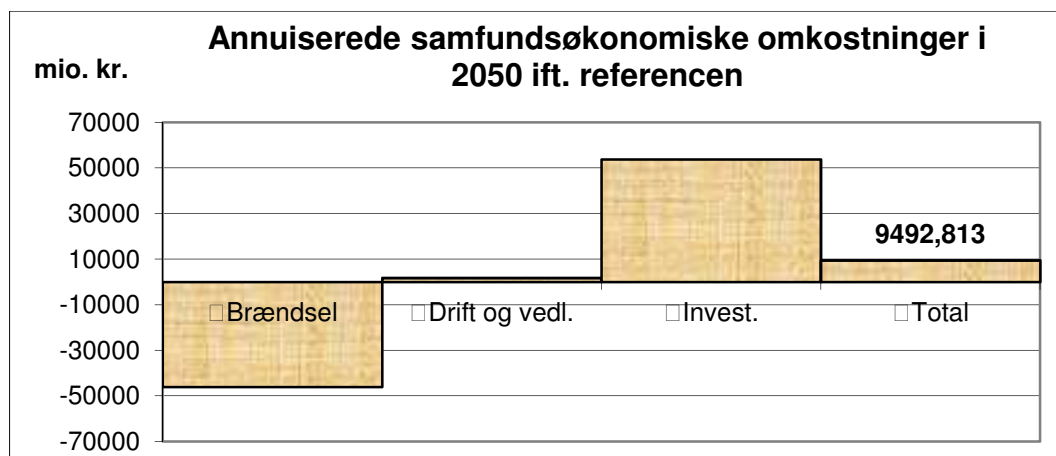
Figur 21 Annuiserede samfundsøkonomiske omkostninger i Fossilfrit scenarie i 2050 ift. Reference



Figur 22 Annuiserede samfundsøkonomiske omkostninger i Teknologiscenarie i 2020 ift. reference



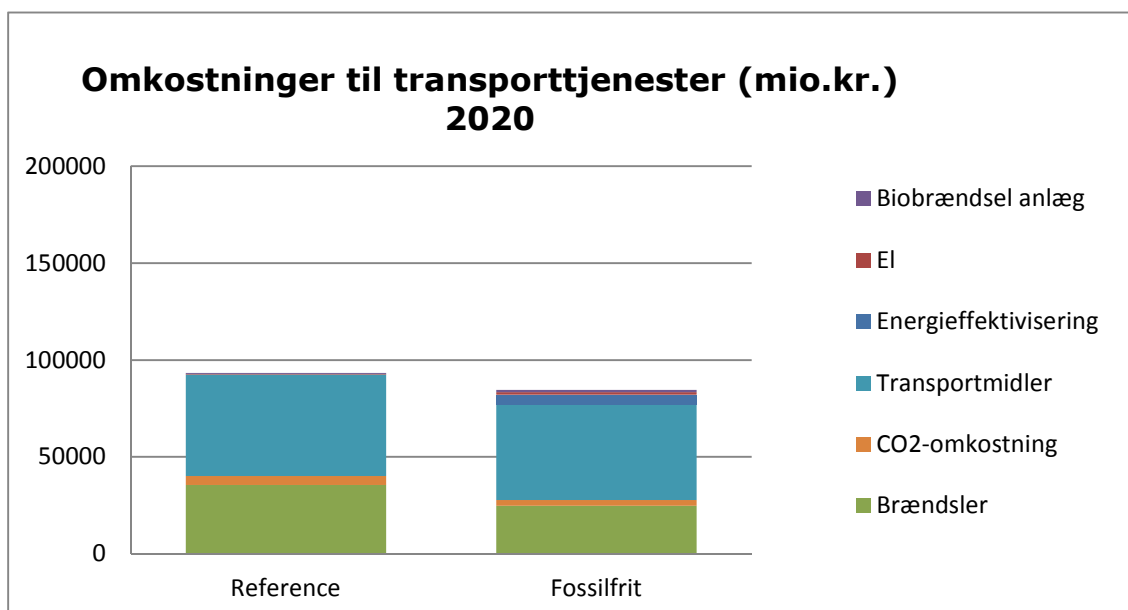
Figur 23 Annuiserede samfundsøkonomiske omkostninger i Teknologiscenarie i 2030 ift. reference



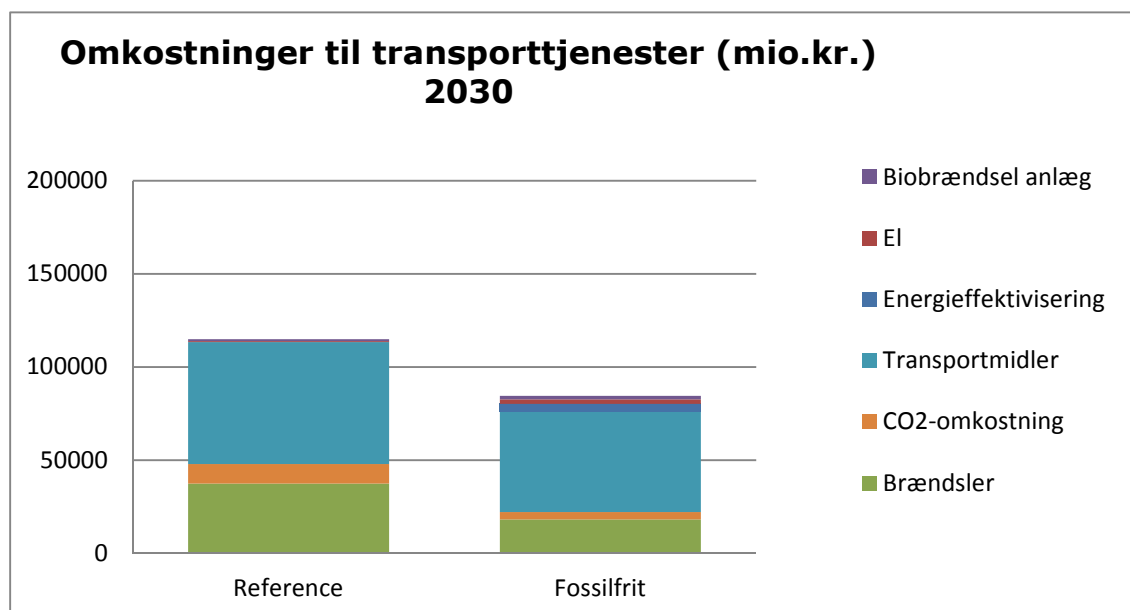
Figur 24 Annuiserede samfundsøkonomiske omkostninger i Teknologiscenarie i 2050 ift. reference

3.2 Transporttjenester, teknologiscenariet og det fossilfri scenarie

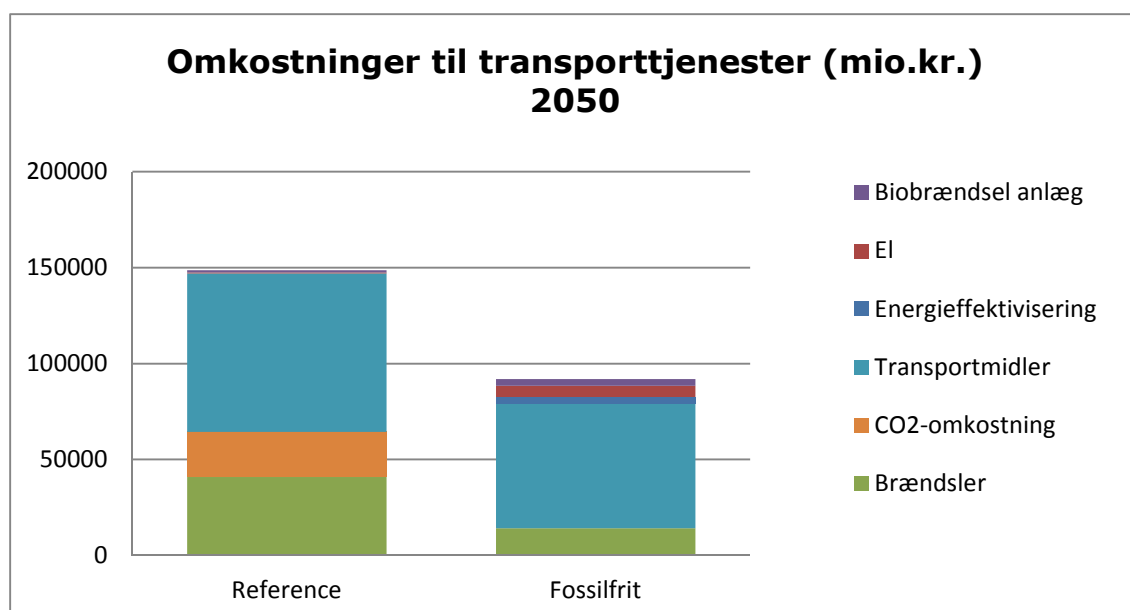
Det fossilfri scenarie reducerer de omkostninger til transporttjenester, som kan beregnes for reference-scenariet. Transporttjenesterne omfatter biobrændsel anlæg, elproduktion, energieffektivisering, transportmidler, CO₂-omkostninger og brændsler.



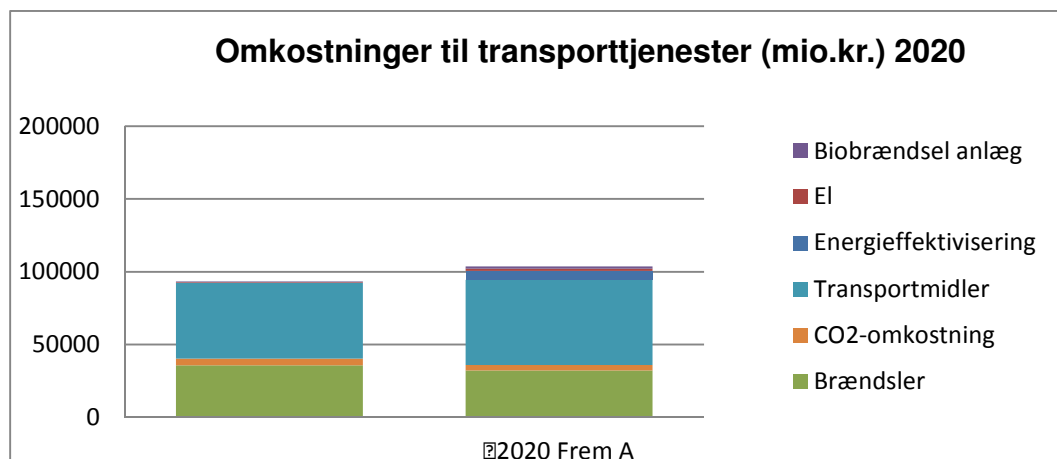
Figur 25 Omkostninger til transporttjenester 2020, Fossilfrit scenarie



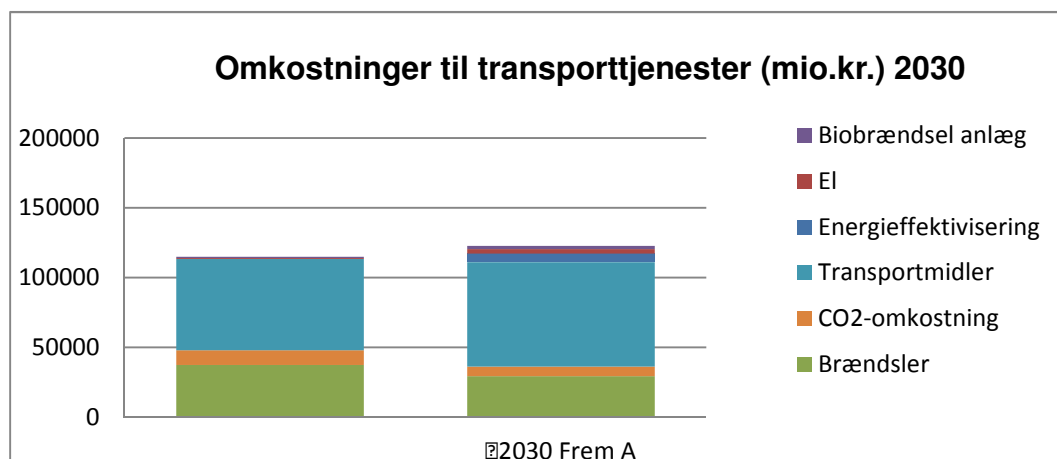
Figur 26 Omkostninger til transporttjenester 2030, Fossilfrit scenarie



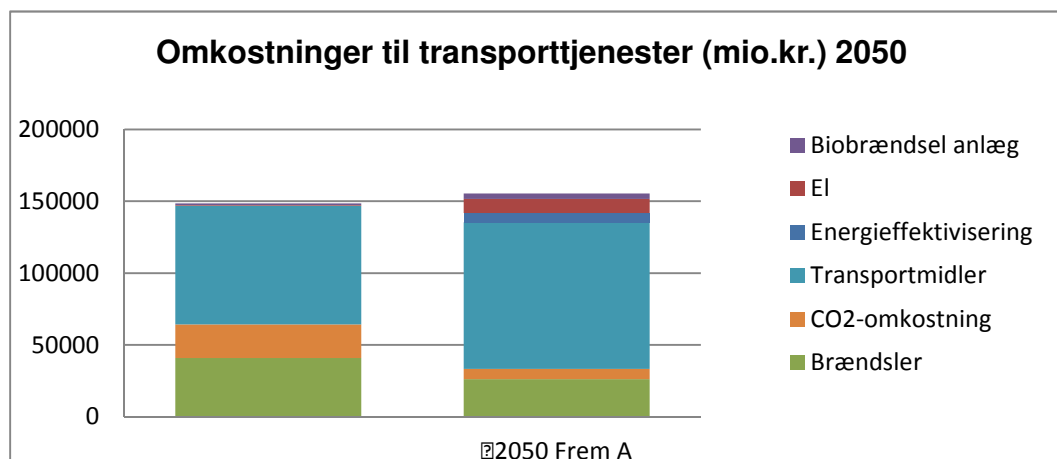
Figur 27 Omkostninger til transporttjenester 2050, Fossilfrit scenarie



Figur 28 Omkostninger til transporttjenester 2020, Teknologiscenarie



Figur 29 Omkostninger til transporttjenester 2030, Teknologiscenarie



Figur 30 Omkostninger til transporttjenester 2050, Teknologiscenarie

Bilag 4

Virkemidler

Til beregning af det fossilfri scenarie er anvendt i alt 12 virkemidler. 11 af de anvendte virkemidler er hentet fra en analyse af mulighederne for at reducere transportens CO₂-udslip, gennemført i projektet "EU-transport GHG: Routes to 2050 – Towards the decarbonisation of the European transport sector by 2050" (RT2050) (European Commission, 2010). Som grundlag for at pege på politiske handlemuligheder er ved hjælp af et modelværktøj, SULTAN, gennemført en række scenarieberegninger af forskellige virkemiddel (pakkers) effekt på transportarbejdet og dermed på energiforbrug og CO₂ udledning.

4.1 SULTAN modellen

SULTAN Illustrative Scenarios Tool er udviklet til RT2050. Modellen er brugt til at beregne nogle enkle policy scenarier der kan besvare spørgsmålet: Hvor store ændringer skal der til for at opnå et bæredygtigt transport system i Europa? I forskellige policy scenarier er der ved hjælp af SULTAN modellen regnet på pakker af virkemidlers effekt på reduktion af transportarbejdet og dermed på transportens CO₂ (GHG) udslip. Effekterne af virkemidlerne er i nogle tilfælde videnskabeligt dokumenteret, i andre tilfælde er der tale om eksperter vurderinger. Fremgangsmåden for udviklingen af policy scenarierne var først at identificere hvilke reduktionsgevinster, der kan opnås ad teknisk vej, eksempelvis forbedring af GHG intensiteten af brændstofferne og teknisk effektivitet af køretøjerne. Da reduktionen ikke levede op til det mål, der på forhånd er sat, blev der tilføjet effekten af ikke-tekniske virkemidler.

Rapporten om SULTAN modellen understreger, at det er højst usikkert at forudsige noget om transporterspørgselen og effekten af virkemidler på den anden side af 2030. Netop derfor er der kun begrænsede fordele ved at anvende mere komplekse modeller (som for eksempel TREMOVE) og derfor anvender SULTAN ikke meget sofistikerede modelleringsmetoder. Med SULTAN modellen bliver resultater beregnet direkte ud fra input, der er ingen optimering, og ingen feed back loops, som tilpasser nogle værdier som reaktion på andre. Out put er "estimates of scale"/størrelsesordener, og ikke brugbare til dybere policy studier, eksempelvis cost-benefit analyser. Modellen er egnet til at sammenligne forskellige policy options på en struktureret vis og til at fremme videre debat og forskning.

Da virkemidlerne anvendt i SULTAN modellen også er relevante i en dansk sammenhæng, har det været muligt at gennemføre beregningerne af det fossilfri scenarie ved at anvende data fra SULTAN.

En kvalitativ validering af virkemiddelpakkerne er gennemført ved en gennemgang af virkemidlerne sammen med projektchef Henrik Duer og Klaus Meulengracht-Madsen, begge fra COWI. Henrik Duer står bag Energistyrelsens dokumentationsrapporter om alternative drivmidler til transport og Klaus Meulengracht Madsen har bl.a. udarbejdet "Klimastrategi - tiltag i transportsektoren" for Region Hovedstaden, med prioritering af tiltag til begrænsning af CO₂ udslip fra transport efter klimateffektivitet (kroner pr. sparet ton CO₂).

Skemaet nedenfor gennemgår de virkemidler, der er hentet fra SULTAN modellen til beregning af det fossilfri scenarie. I Teknologirådets modelværktøj er der mulighed for at klikke de nævnte virkemidler til eller fra. I modelværktøjet indgår 13 virkemidler, hvor 2 af dem (8 og 9) omhandler det samme, høj eller

lav CO2 afgift. Derfor kan kun 12 være slået til samtidig. Resultaterne af det fossilfri scenarie som gengives i rapporten er fundet ved den høje CO2 pris, som er den der fremgår af tabellen for kvantificering af virkemidler, tabel 13 nedenfor.

Navn på virkemiddelpakke anvendt i fossilfri scenarie:	Virkemiddelpakkens navn i SULTAN modellen og eksempler på indhold:
1. Forbedrede faciliteter for cyklister og gående	<i>Package of cycling and walking improvement measures</i> Pakke af midler til fremme af blød transport kan omfatte forbedrede forhold for cyklister og gående, såsom bedre cykelstier og gangstier, direkte cykelruter, at lukke gader af for biltrafik eller give cyklister højst prioritet, parkeringspolitik, byplanlægning med fokus på tæthed og bedre lokalisering af bolig og arbejdssted. (1)
2. Fysisk planlægning	<i>Improved spatial planning (road and rail)</i> Forbedret fysisk planlægning og infrastrukturudvikling udenfor bymæssige områder som fremmer modale skift fra personbil og lastbil til især tog. Fx investering i infrastruktur til højhastighedstog og elektrificering af jernbanenettet, intermodale forbindelser for godstransport. (2)
3. Optimering af offentlig transport	<i>Package of mobility management measures incl. improved public transport (3)</i> Kollektiv transport investeringer: Effekt på CO2 udslip opnås ved skift fra bil til kollektiv transport. Særligt ved byfortætning kan kollektiv transport konkurrere med biltransport hvis der er trængsel på vejnettet. Reduceret ventetid ved højere frekvens af kollektiv transport og reduceret rejsetid ved at investere i særlig infrastruktur for kollektiv transport kan understøtte modalt skift. Investeringer i kollektiv transport skal suppleres med fx kørselsafgifter for at få effekt.
4. Forbedret co-modalitet for godstransport (samordning af mindst CO2-udledende transportmidler)	<i>Improved freight intermodality (road, rail, inland shipping)</i> Intelligent trafik management (ITS), udbygning af transfer terminaler (vej til bane og skib), lokaliseringspolitik for transport virksomheder og logistik. (4) Distribution i byer – se note (5)
5. Hastighedsnedsættelse på motorveje	<i>Harmonised EU motorway speed limit (road)</i> Sænke hastighedsgrænser på motorveje. (6)
6. Kurser i effektiv kørsel	<i>Fuel efficient driver training (road, rail)</i> Kurser i energieffektiv kørsel, evt. standard ved køreprøve, vedligeholdes ved at blive understøtte af teknologi i køretøjet – evt. automatiseret. (7)
7. Ændring af regler for beskatning af firmabiler	<i>Company car tax reforms (cars)</i> Firma bil beskatning ændres så omkostninger til brug af bil til privat kørsel pålægges brugeren/ den ansatte. (8)
8. CO2-afgift på fossile brændsler. Høj CO2-pris 180€/ton i 2050	<i>CO2 price tax (all modes, based on central/low/high CO2 costs)</i>
9. Partikelforurenings- og forsyningssikkerheds-Afgift	<i>Non-CO2 price tax (road, internalise cost of NOx, PM and energy security)</i> Internaliserer omkostninger ved udslip af NOx, PM og energi-

	forsyningsikkerhed.
10. Harmoniserede brændstofafgifter i EU	<i>Equivalent duty and VAT rates for fuels (all modes)</i> Ensartede skatter og afgifter for brændstoffer. For at undgå grænsehandel er en EU-harmonisering at foretrække (vejtransport) eller nødvendig (luftfart).
Supplerende virkemidler	
11. Afskaffelse af befordringsfradraget (9)	Ikke med i SULTAN modellen – dansk kilde benyttet.
12. Kørselsafgift (10)	Ikke med i SULTAN modellen – dansk kilde benyttet.

Tabel 13 Forklaring af virkemidler anvendt til beregning af det fossilfri scenarie

1) RT 2050 paper 8, Infrastructure:

GHG emission reduction in urban planning and infrastructure development

A number of urban planning and infrastructure policies were identified that affect the GHG emissions of transport: urban planning, investments in public transport, cycling and walking infrastructure, parking policy and policies for advanced distribution concepts.

It is concluded that these policy instruments can help to reduce GHG emissions. However, they need to be combined with other measures such as pricing policies, otherwise the reduction is expected to be limited (or even negative). There is limited concrete, quantitative evidence on GHG reduction potential of these instruments, partly because of the complexity of effects induced by these policies, but also because of the lack of assessments: most of these instruments are not specifically applied with the goal to reduce GHG emissions.

Om byplanlægning fremhæver paperet at byfortætning kan være en strategi til at reducere bytransportens CO₂ udledning. Erfaringer fra Holland dokumenterer at der er forskel på CO₂ udledning i byer og på landet, og andre kilder peger på byfortætningens fordele i at forkorte afstande mellem forskellige byfunktioner. Men de nuværende bystrukturer vil formentlig eksistere helt frem til 2050 og derfor er det en uhyre langsigtet strategi at skulle omdanne byer med det formål at reducere CO₂ udledning.

Long distance biking: An option to make cycling attractive for longer distances, in hilly terrain or for elderly and frail people, is the introduction of electric bicycles. There are bikes that assist the cyclist, who still has to pedal, and there are bicycles that completely take over from the cyclists during part of the trip.

(s. 17)

2) RT 2050 paper 8, Infrastructure:

GHG emission reduction in spatial and infrastructure development outside urban areas

Outside urban areas, most transport GHG emissions are from cars and trucks (for the shorter distances) and by airplanes and trucks (for the longer distances). To reduce GHG emissions from these trips, the main options are to prevent trips or to accomplish a shift from high-carbon kilometres towards lower-carbon kilometres for transport.

It is concluded that investments in the „greener“ modes can lead to better developed and more efficient transport networks. However, provision of new transport possibilities and/or infrastructure alone cannot be expected to lead to a GHG emission reduction but rather lead (in most cases) to more transport movements. Therefore, these investments should be part of a larger set of policy instruments like legislation regarding vehicle emissions or pricing policy.

(s. 23)

3) RT 2050 paper 8, Infrastructure, s. 18

4) RT2050 paper 5, Modal split and decoupling options, s. 51

5) RT 2050 paper 8, Infrastructure:

Policy for advanced distribution concepts

There are several advanced distribution concepts that can help reduce GHG emissions. An example is urban consolidation centres, which are located at the border of the city and where goods are collected to bundle the transport into the city, are in theory a good solution to reduce the negative impacts of urban distribution. The extra costs for of the transshipment for the carriers at this urban consolidation centre, however, reduced the popularity of the centres. The use of an urban consolidation centre gives the possibility to use electric because in most cases only small distances need to be travelled. At the moment cities might be at a tipping point (congestion, delivery windows) making consolidation centres more feasible and effective.

Example today:

In the Netherlands a new concept of an urban consolidation centre started recently, called Binnenstadservice („Inner-city service“). Its mission is to reduce the negative environmental impacts of city logistics. It differs from initiatives in the past, as it focuses on receivers rather than carriers. The receivers, the stores in the city centre, change their address to the address of the urban consolidation centre. The transport savings are shared between the stores and the consolidation centre. The transport to the city centre by Binnenstadservice is done by low emission vehicles, e.g. using CNG or electric trucks and freight bicycles. After one year a 5% decrease in the number truckkilometres and the truck-travel time in the Nijmegen city centre was reached (van Rooijen & Quak, 2009). New elements can be added to this concept in the near future, like revenue management principles to include dynamic price setting for the delivery of goods. Also, the pricing of entering the city for trucks and introduction of physical barriers for large trucks can strengthen the position of the consolidation centre. The concept is especially attractive for cities with a historic city centre far away from highways.

The case of this new distribution concept is an example of a wider trend which might hold a promise for the longer term at a wider scale as well: collaborative logistics planning. As companies are increasingly searching for economies of scale in transportation, they will be inclined more and more to co-operate by joining shipments. This will create new collective infrastructures increasing the degree of loading of vehicles (Tavasszy et al, 2003). Small initiatives have the possibility to grow once a certain mass is gained, transaction costs become acceptable and benefits can be shared (see Groothedde, 2006). Pricing of empty trips can stimulate this evolution.

6) RT 2050 paper 8, Infrastructure

Lowering speed limits can be very effective in reducing GHG emissions, without generating this rebound effect of increasing transport volume.

7) RT 2050 paper 4, Operational options

Eco-driving is the name often given to driving techniques that drivers can use to optimise their car fuel economy.

The fuel savings typically outweigh the costs, making this a very cost effective measure. Main barriers to harvesting the full potential of this measure are securing driver participation, and ensuring that eco-driving habits are sustained over time. The first barrier is partly tackled by the EU requirement that eco-driving is taught to novice drivers. In-car equipment such as gear shift indicators, cruise controls and on-board computers giving feedback on fuel consumption raise awareness, and help drivers to maintain a fuel efficient driving style participation, and ensuring that eco-driving habits are sustained over time

8) RT 2050 Paper 7, Economic Instruments

Company car taxation

Company car taxation and fiscal treatment of commuting and business travel includes several types of hidden subsidies. Reforming these in a way that the subsidies are diminished could have significant GHG reduction potential. The variable user cost of company car use for private purposes are often very low or even zero because most or

even all cost are covered by the company. Therefore, these users have hardly any incentive for limiting their car use. This is an issue of distribution of the cost between company and employee and could possibly be solved by targeted regulation on these types of arrangements, e.g. prohibiting that the cost of private car use are covered by the company. An alternative approach could to introduce incentive in the company car taxation schemes for putting the variable cost of private car use with the employee.

9)

En afskaffelse af befordringsfradraget er af COWI vurderet til at potentielt kunne reducere transportarbejdet med personbil med 5,3% og togtransporten med 7,1%. Side 33 i Rapport nr. 00-04 Pendling og befordringsfradrag.

10)

En roadpricing på 10 øre/km vil reducere biltrafikken med ca. 3½% (ved en langsigtet elasticitet mellem brændstofpris og kørte kilometer på -0,29). Kilde: Per Homann Jespersen.

4.2 SULTAN modellens kvantificering af virkemidlerne

I skemaer nedenfor er indsat effekter af virkemidlerne 1-12 som er anvendt til at beregne det fossilfri scenarie.

Effekt på transportarbejdet:

Virkemiddel	Persontransport						Godstransport					Total effekt	
	Bil	Bus	Tog	Cykel/gang	Fly	Skib	Lastbil	Varebil	Tog	Fly	Skib	pkm	tkm
1	-7,8	-2,2	-1,5	231	-	-	-	-	-	-	-	0	-
2	-17	31	42	51	-	-	-10	-10	-	-	-	-3,5	-2,7
3	-10,8	40	80	20	-10,5	-	-	-	-	-	-	0	-
4	-	-	-	-	-	-	-15	-	153	-	3,7	0	-
5	-5	-1,3	-	-	-	-	-1	-2	-	-	-	-3,2	0,5
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,8	-
8 ¹	-4,4	-5,6	-5,6	-	-16,3	-18,8	-4,9	-4,4	-4	-14,2	-15,1	-5,8	-11,8
9	-1,7	-2,2	-1	-	-	-	-2,3	-2	-1	-	-	-1,1	-0,4
10	-	-1,6	-0,6	-	-25,5	-19,3	-1,6	-0,6	-0,7	-25,5	-19,3	-5,8	-13,6
11	-5,3	-	-7,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-3,8	-
12	-5	-5	-	-	-	-	-5	-5	-	-	-	-3,5	-1,6

Tabel 14 Effekter af virkemidler på transportarbejdet² (pkm/tkm) i 2050. Opgjort som procentvis ændring i forhold til BAU 2050. Virkemidlernes effekt er justeret i forhold til introduktionen af nye teknologier. Eksempelvis påvirker en CO2 afgift kun andelen af transportarbejdet som fortsat er drevet af fossile brændsler og ikke arbejdet som udføres af el- eller bio-brændseldrevne køretøjer. Der er ikke taget højde for synergieffekter mellem virkemidlerne. Effekterne er således lagt oveni hinanden og kan derfor ses som værende den potentielt maksimale effekt.

Effekt på Belægningsgraden:

I forbindelse med vurderingen af virkemidlernes effekt var der i original-kilden (SULTAN – Routes to 2050) ikke inkluderet en kvantificering af de potentielle effekter på belægningsgraden. Eftersom at flere

¹ 8: CO2 afgift – høj CO2 pris. Effekterne er kun gældende for den andel af transporten som stadig er drevet af fossile brændsler og størrelsen af disse er derfor mindre end i SULTAN, hvor der sammenlignes med BAU 2050. Der er antaget et 4/5 forhold mellem priselasticiteterne for henholdsvis personbil og kollektiv transport (Tabel fra Emma KK). Dette betyder at hvis benzinprisen stiger med 1 procent så falder transportarbejdet med bil med 0,04 % alt imens den kollektive transport stiger med 0,05 %

² Effekterne er fundet ved at "slå alle knapper fra" undtaget det aktuelle virkemiddel.

af virkemidlerne må forventes at have en positiv effekt (stigende belægningsgrader) for mange af køretøjerne er disse vurderet i forbindelse med en række arbejdsgruppe og styregruppemøder med eksperter og interessenter. Se nedenstående tabel for en kvantificering af de potentielle effekter af de enkelte virkemidler på belægningsgraden for persontransport og godstransport. Effekterne er således inkluderet i det fossilfri scenarie i perioden 2010-2050.

Virkemiddel	Persontransport						Godstransport				
	Personbil	Bus	Tog	Cykel/gang	Fly	Skib	Lastbil	Varebiler	Tog	Fly	Skib
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	10%	10%	10%	-	-	-	10%	10%	-	-	-
3	-	10%	10%	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	10%	-	10%	-	10%
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	1%	-	-	-	-	-	15%	10%	15%	10%	15%
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	10%	-	-	-	-	-	1%	10%	-	-	-
Total	21%	20%	20%	-	-	-	58%	35%	33%	15%	33%

Tabel 15 Effekter af virkemidler på belægningsgraden. Værdierne i tabellen er den procentvise stigning i perioden 2010-2050

Effekt på energieffektiviteten:

Værdier er angivet som den procentvise reduktion i energiforbrug per km. Vær opmærksom på at der allerede er antaget relativt store energieffektiviseringer i reference-scenariet og virkemidlernes effekt kun udgør en relativt begrænset del af de anvendte energieffektiviseringer. Nogle af værdierne fra SULTAN modellen er således reduceret eller helt udeladt for at undgå at medregne de samme effekter to gange. Dette gælder i særdeleshed for fly, skib og lastbiler. For virkemiddel 8 (CO₂ afgift) gælder effekten kun for den andel af transportmidler som fortsat anvender fossile brændsler. Effekterne er gradvist implementeret i perioden 2010-2050.

Virkemiddel	Persontransport						Godstransport				
	Personbil	Bus	Tog	Cykel/gang	Fly	Skib	Lastbil	Varebiler	Tog	Fly	Skib
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-4%	-1%	-	-	-	-	-1%	-9%	-	-	-
6	-2%	-3%	-3%	-	-	-	-2%	-4%	-2%	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-12%	-6%	-	-	-3%	-2%	-4%	-4%	-	-3%	-2%
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-3%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	-26%	-12%	-3%	0%	-5%	-4%	-9%	-19%	-2%	-5%	-4%

Tabel 16 Virkemidlernes effekt på køretøjernes energi-effektivitet (MJ/km)

4.3 Periodisering af virkemidler

Overordnet set er det de økonomiske virkemidler som bidrager til den største forskel mellem tekno og fossilfri scenarie frem mod 2030, mens effekten af de virkemidler som kræver større infrastrukturinvesteringer eller anden demografisk og teknologisk udvikling er vurderet at være størst sidst i perioden (2030-2050). Det er altså vurderet "nemmere" at implementere de økonomiske virkemidler hurtigt.

Det er muligt at vælge at fordele effekten af virkemidler anderledes. Slutresultatet (CO₂/yr) forbliver dog det samme uanset hvornår effekterne træder i kraft.

Virkemiddel Fordeling af effekt

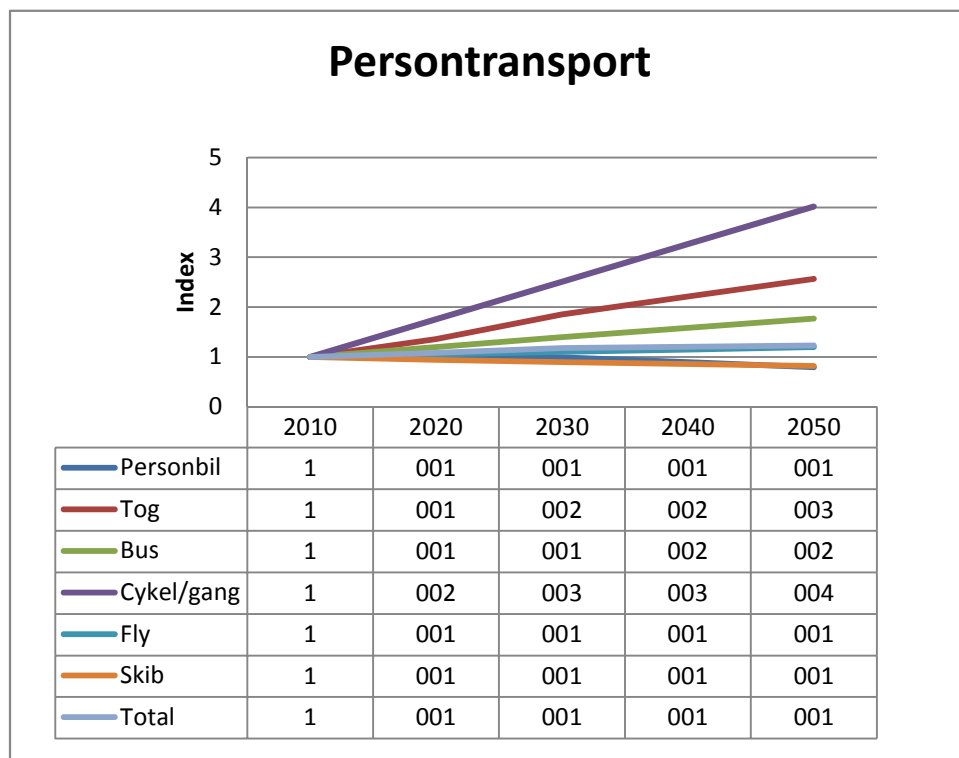
	2020	2030	2050
1	25%	25%	50%
2	25%	25%	50%
3	25%	25%	50%
4	25%	25%	50%
5	0%	0%	100%
6	50%	50%	0%
7	50%	50%	0%
8	33%	33%	33%
9	33%	33%	33%
10	33%	33%	33%
11	33%	33%	33%
12	33%	33%	33%

Tabel 17 Periodisering af virkemidlerne 1-12 anvendt i beregning af det fossilfri scenarie 2010-2050

4.4 Følsomhedsanalyser på udvalgte virkemidler

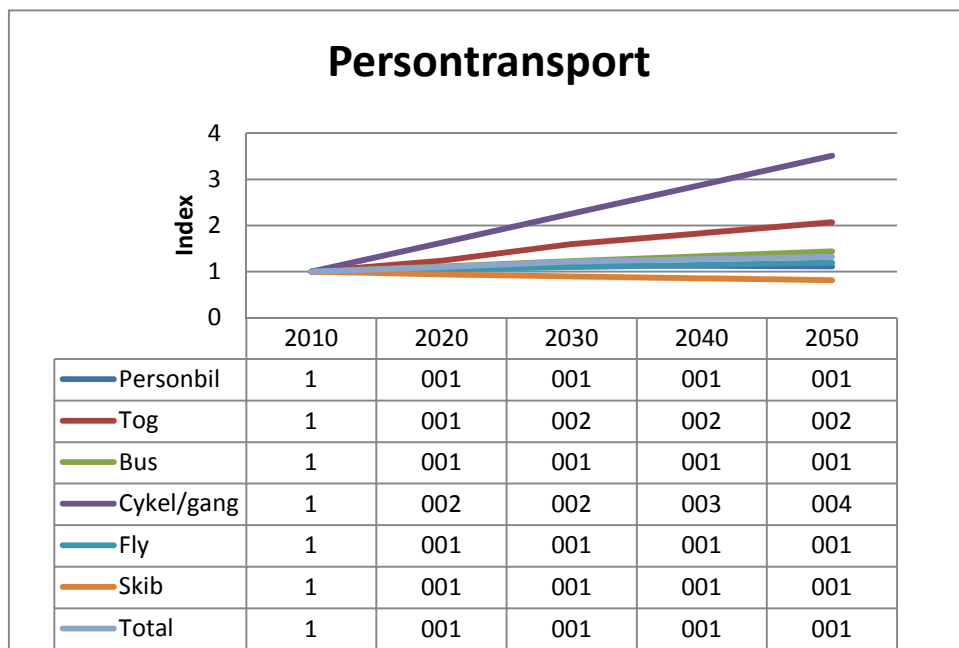
Der er udarbejdet følsomhedsanalyser på effekten af udvalgte virkemidler for at undersøge resultaternes følsomhed overfor forskellige antagelser omkring størrelsen af denne effekt. Der er således foretaget følsomhedsanalyser på effekten af Fysisk Planlægning (2), Optimering af den kollektive transport (3), Hastighedsnedsættelse på motorveje (5), CO₂ afgift (8) og afskaffe befordringsfradraget (11). Figurerne viser resultatet mht. udviklingen i persontransportarbejde efter at det pågældende virkemiddel er "slået fra".

Fossilfrit scenarie



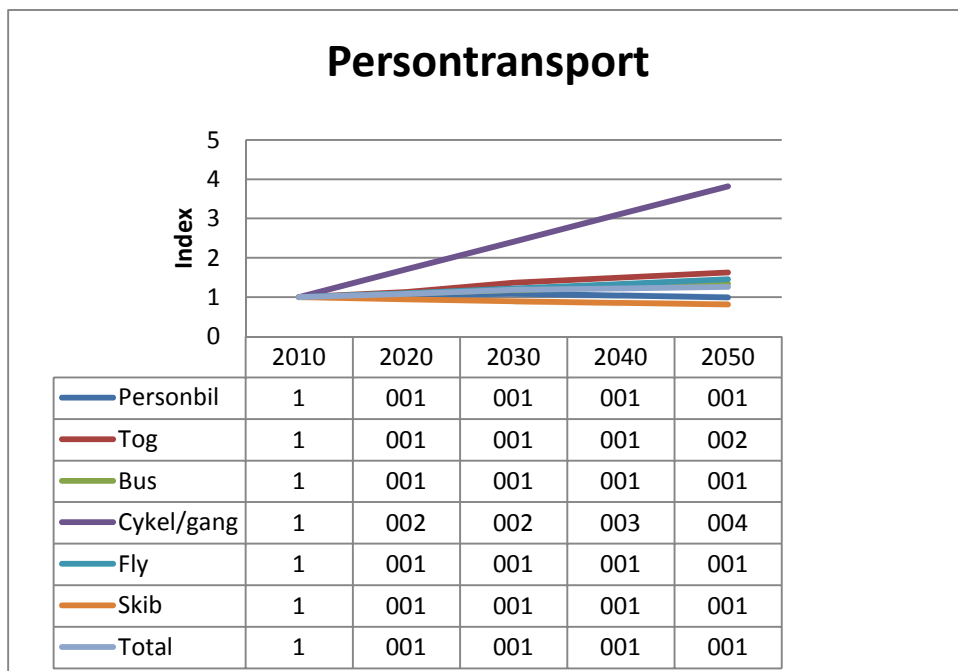
Figur 31 Ændring i persontransportarbejde fordelt på transportmidler

Fysisk planlægning (2)



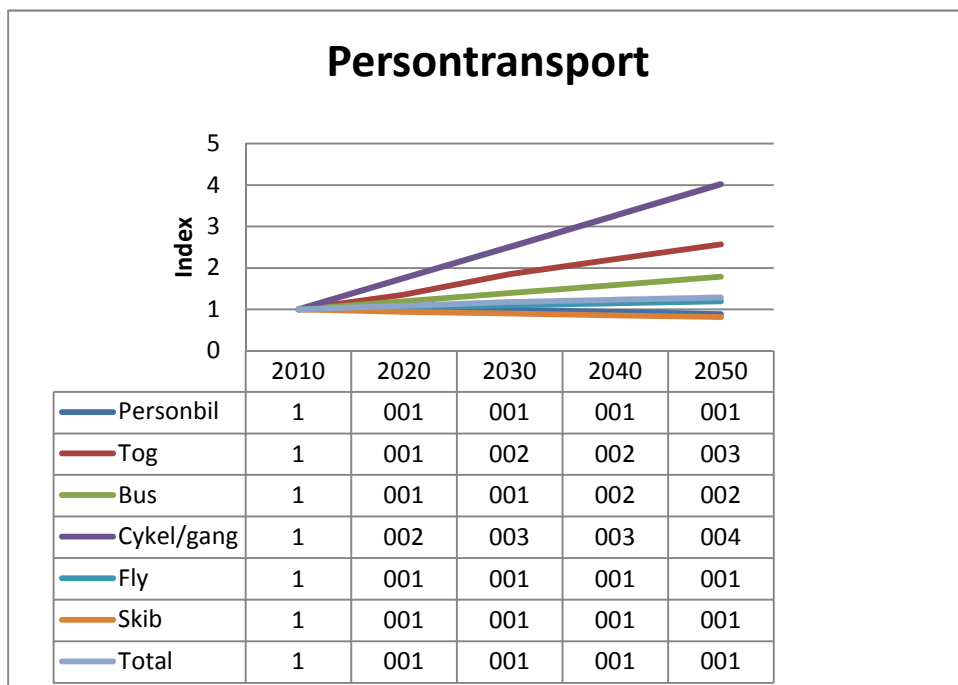
Figur 32 Ændring i persontransportarbejde når virkemiddel fysisk planlægning ikke er taget med

Optimering af den kollektive transport (3)



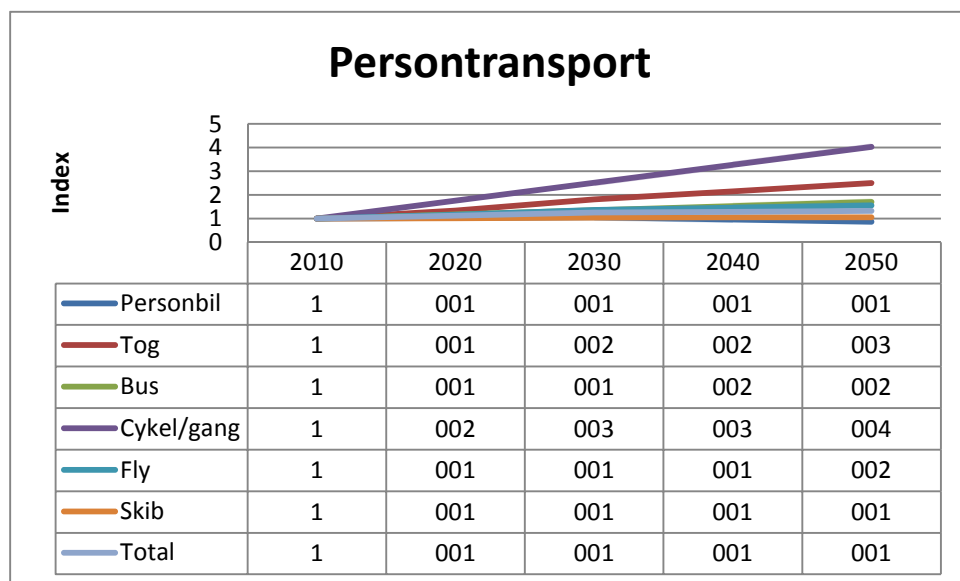
Figur 33 Ændring i persontransportarbejde når virkemiddel optimering af kollektiv transport ikke er taget med

Hastighedsnedsættelse på motorveje (5)



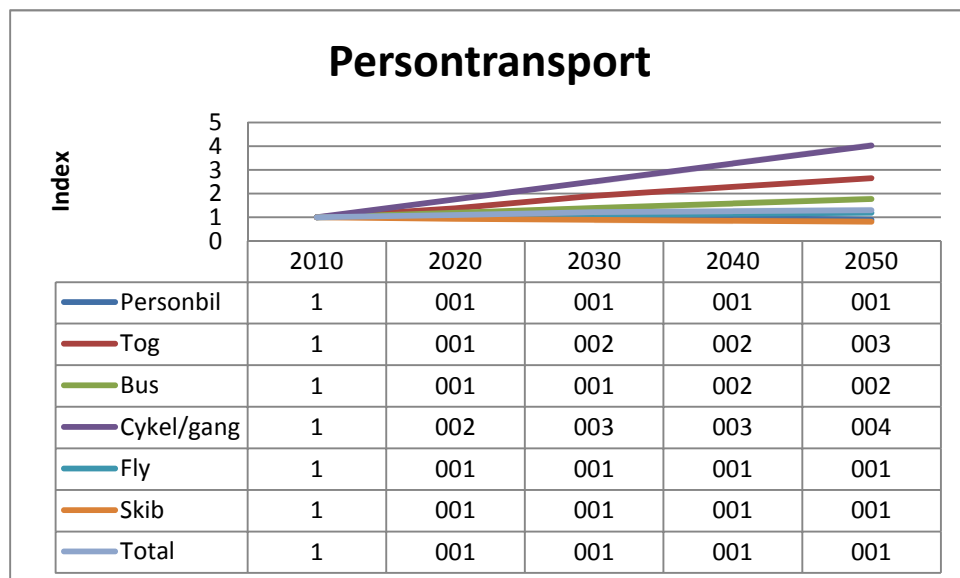
Figur 34 Ændring i persontransportarbejde når virkemiddel hastighedsnedsættelse ikke er taget med

Høj CO2 afgift (8)



Figur 35 Ændring i persontransportarbejde når virkemiddel høj CO2 afgift ikke er taget med

Afskaffe befodringsfradraget



Figur 36 Ændring i persontransportarbejde når virkemiddel afskaf befodringsfradrag ikke er taget med

Bilag 5

Referencescenariet

5.1 Introduktion

I dette afsnit beskrives og dokumenteres forudsætningerne for, samt indholdet af referencescenariet for perioden 2010-2050. I afsnittet redegøres for datakilder for transportarbejde, energiforbrug, lastfaktorer og belægningsgrader for år 2010. Herudover dokumenteres forudsætningerne for fremskrivningen frem imod 2050 mht. Væksten i transportefterspørgsel og energiforbrug. Såfremt anvendte data varierer fra de nævnte kilder er dette beskrevet udførligt. Tabel 18 til 25 viser resultaterne af referencescenariet.

5.2 Afgrænsning

Transportefterspørgslen inkluderer nationalt og internationalt passager- og godstransportarbejde, der er tilknyttet til transport af danske borgere og varer, der bliver forbrugt i Danmark. Som et resultat af beslutningen om at inkludere den internationale transport vil transportdata for 2010 afvige fra andre publikationer, inklusiv Energistyrelsens energistatistik (Energistyrelsen, 2010). I sidstnævnte er international transport kun medtaget for udenrigs luftfart. Beslutningen om at inkludere national og international transport og det tilknyttede energiforbrug er funderet på de følgende to mål:

- At levere en omfattende vurdering af efterspørgslen for transport og energi som er relateret til danske borgeres færden, i Danmark og i udlandet, og varer forbrugt i Danmark.
- At evaluere vigtigheden af efterspørgslen efter transport og energi relateret til international transport, sammenlignet med national transport.

For international transport tænkes det generelt, at 50 % af den totale transportefterspørgsel til-og-fra Danmark kan relateres til danske borgeres færden og varer forbrugt i Danmark. Som en konsekvens antages der implicit et 50:50 import/eksport forhold.

5.3 Reference scenariet 2010-2050

Efterspørgslen efter transport og energi er underinddelt jævnfør de følgende transportformer:

5.3.1 Danskernes transport inddelt i sektorer

Persontransport	Godstransport
Personbil og varevogn < 2 ton National transport Fritidsrelateret transport < 5 km 5-25 km 25-50 km > 50 km Arbejdsrelateret transport < 5 km 5-25 km 25-50 km > 50 km International transport	Lastbil National < 50 km 50-200 km > 200 km International < 50 km 50-200 km > 200 km
Tog National transport Elektrisk Diesel International transport - elektrisk	Varebiler (2-6 ton) < 50 km > 50 km
Bus National transport < 5 km 5-25 km 25-50 km > 50 km International transport	Tog National transport Elektrisk Diesel International transport – elektrisk
Cykel/gang National transport < 5 km 5-25 km 25-50 km > 50 km	Fly National transport International transport
Fly Indenrigsfly Udenrigsfly < 1000 km > 1000 km	Skib National transport International transport
Færge Indenrigsfærge Udenrigsfærge	

5.3.2 Referencescenariet i tal

Persontransport 2010	Transportarbejde		Trafikarbejde		Energiforbrug				Kapacitet		Belægningsgrad	
	Mio pkm	%	Mio km	%	MJ/pkm	MJ/km	TJ	%	Personer	%	Personer	
Personbil og varevogn < 2 ton	52456	60%	30395	88%	1.56	2.69	81715	68%	4	43%	1.72	
National transport	50386	57%	29567	86%	1.59	2.71	80266	67%	4	43%	1.70	
Fritidsrelateret transport	28976	33%	14274	41%	1.36	2.77	39541	33%	4	51%	2.03	
< 5 km	1475	2%	727	2%	1.7	3.5	2543	2%	4	51%	2.03	
5-25 km	8978	10%	4423	13%	1.7	3.5	15480	13%	4	51%	2.03	
25-50 km	6438	7%	3172	9%	1.7	3.5	11100	9%	4	51%	2.03	
> 50 km	12085	14%	5953	17%	0.9	1.8	10418	9%	4	51%	2.03	
Arbejdsrelateret transport	21410	24%	15293	44%	1.9	2.7	40725	34%	4	35%	1.40	
< 5 km	336	0%	240	1%	2.5	3.5	840	1%	4	35%	1.40	
5-25 km	5018	6%	3584	10%	2.5	3.5	12545	10%	4	35%	1.40	
25-50 km	5816	7%	4154	12%	2.5	3.5	14540	12%	4	35%	1.40	
> 50 km	10240	12%	7315	21%	1.3	1.8	12800	11%	4	35%	1.40	
International transport	2070	2%	828	2%	0.7	1.8	1449	1%	4	63%	2.50	
Tog	7466	9%	61	0%	0.4	46.0	2821	2%	300	41%	122	
National transport	6389	7%	53	0%	0.4	48.2	2566	2%	300	40%	120	
Elektrisk	2811	3%	23	0%	0.2	28.4	666	1%	300	40%	120	
Diesel	3578	4%	30	0%	0.5	63.7	1900	2%	300	40%	120	
International transport - elektrisk	1077	1%	8	0%	0.2	32.0	255	0%	300	45%	135	
Bus	9175	10%	616	2%	0.8	11.9	7309	6%	50	30%	15	
National transport	7250	8%	563	2%	0.9	11.0	6222	5%	50	26%	13	
< 5 km	162	0%	13	0%	1.1	14.5	183	0%	50	26%	13	
5-25 km	2103	2%	163	0%	1.1	14.5	2375	2%	50	26%	13	
25-50 km	1501	2%	117	0%	1.1	14.5	1695	1%	50	26%	13	
> 50 km	3485	4%	271	1%	0.6	7.3	1969	2%	50	26%	13	
International transport	1925	2%	53	0%	0.6	20.6	1087	1%	52	70%	36	
Cykel/gang	3248	4%	3248	9%	-	-	-	-	1	100%	1	
National transport	3248	4%	3248	9%	-	-	-	-	1	100%	1	
< 5 km	1809	2%	1809	5%	-	-	-	-	1	100%	1	
5-25 km	1309	1%	1309	4%	-	-	-	-	1	100%	1	
25-50 km	105	0%	105	0%	-	-	-	-	1	100%	1	
> 50 km	25	0%	25	0%	-	-	-	-	1	100%	1	
Fly	13741	16%	102	0%	1.7	235	24046	20%	171	79%	135	
Indenrigsfly	379	0%	8	0%	3.7	186	1410	1%	91	55%	50	
Udenrigsfly	13362	15%	95	0%	1.7	239	22636	19%	173	82%	141	
< 1000 km	3341	4%	24	0%	2.1	295	6965	6%	173	82%	141	
> 1000 km	10022	11%	71	0%	1.6	221	15671	13%	173	82%	141	
Færge	1688	2%	3	0%	2.7	1557	4635	4%	1428	40%	567	
Indenrigsfærge	187	0%	1	0%	4.0	715	743	1%	450	40%	180	
Udenrigsfærge	1501	2%	2	0%	2.6	2009	3892	3%	1550	50%	775	
TOTAL	87775	100%	34426	100%			120526	100%				

Tabel 18 Persontransport - Referencescenariet 2010

Persontransport 2020	Transportarbejde		Trafikarbejde		Energiforbrug				Kapacitet		Belægningsgrad
	Mio pkm	%	Mio km	%	MJ/pkm	MJ/km	TJ	%	Personer	%	Personer
Personbil og varevogn < 2 ton	64998	61%	37724	90%	1.33	2.29	86347	66%	4	43%	1.72
National transport	62424	59%	36695	88%	1.36	2.31	84790	65%	4	43%	1.70
Fritidsrelateret transport	35611	34%	17542	42%	1.16	2.39	41304	32%	4	51%	2.03
< 5 km	1613	2%	795	2%	1.5	3.0	2403	2%	4	51%	2.03
5-25 km	9820	9%	4837	12%	1.5	3.0	14630	11%	4	51%	2.03
25-50 km	8404	8%	4140	10%	1.5	3.0	12520	10%	4	51%	2.03
> 50 km	15774	15%	7770	19%	0.7	1.5	11750	9%	4	51%	2.03
Arbejdsrelateret											
Transport	26814	25%	19153	46%	1.6	2.3	43487	33%	4	35%	1.40
< 5 km	367	0%	262	1%	2.2	3.0	794	1%	4	35%	1.40
5-25 km	5488	5%	3920	9%	2.2	3.0	11856	9%	4	35%	1.40
25-50 km	7591	7%	5422	13%	2.2	3.0	16399	13%	4	35%	1.40
> 50 km	13366	13%	9547	23%	1.1	1.5	14438	11%	4	35%	1.40
International transport	2574	2%	1029	2%	0.6	1.5	1557	1%	4	63%	2.50
Tog	7655	7%	63	0%	0.4	43.9	2751	2%	300	41%	122
National transport	6551	6%	55	0%	0.4	45.8	2502	2%	300	40%	120
Elektrisk	2882	3%	24	0%	0.2	27.0	650	0%	300	40%	120
Diesel	3668	3%	31	0%	0.5	60.6	1853	1%	300	40%	120
International transport - elektrisk	1104	1%	8	0%	0.2	30.4	249	0%	300	45%	135
Bus	9407	9%	632	2%	0.7	11.0	6957	5%	50	30%	15
National transport	7433	7%	578	1%	0.8	10.3	5923	5%	50	26%	13
< 5 km	166	0%	13	0%	1.0	13.5	174	0%	50	26%	13
5-25 km	2156	2%	167	0%	1.0	13.5	2261	2%	50	26%	13
25-50 km	1539	1%	120	0%	1.0	13.5	1614	1%	50	26%	13
> 50 km	3573	3%	278	1%	0.5	6.7	1874	1%	50	26%	13
International transport	1973	2%	54	0%	0.5	19.1	1035	1%	52	70%	36
Cykel/gang	3248	3%	3248	8%	-	-	-	-	1	100%	1
National transport	3248	3%	3248	8%	-	-	-	-	1	100%	1
< 5 km	1809	2%	1809	4%	-	-	-	-	1	100%	1
5-25 km	1309	1%	1309	3%	-	-	-	-	1	100%	1
25-50 km	105	0%	105	0%	-	-	-	-	1	100%	1
> 50 km	25	0%	25	0%	-	-	-	-	1	100%	1
Fly	18828	18%	140	0%	1.6	215	30101	23%	171	79%	135
Indenrigsfly	519	0%	10	0%	3.4	170	1765	1%	91	55%	50
Udenrigsfly	18309	17%	130	0%	1.5	219	28336	22%	173	82%	141
< 1000 km	4577	4%	32	0%	1.9	269	8719	7%	173	82%	141
> 1000 km	13732	13%	97	0%	1.4	202	19617	15%	173	82%	141
Færge	1847	2%	3	0%	2.5	1446	4706	4%	1428	40%	567
Indenrigsfærge	205	0%	1	0%	3.7	664	754	1%	450	40%	180
Udenrigsfærge	1642	2%	2	0%	2.4	1865	3952	3%	1550	50%	775
TOTAL	105982	100%	41810	100%			130863	100%			

Tabel 19 Persontransport - Referencescenariet 2020

Persontransport	Transportarbejde		Trafikarbejde		Energiforbrug				Kapacitet	Belægningsgrad	
	Mio pkm	%	Mio km	%	MJ/pkm	MJ/km	TJ	%	Personer	%	Personer
2030											
Personbil og varevogn < 2 ton	79953	62%	46404	92%	1.14	1.96	90813	66%	4	43%	1.72
National transport	76754	60%	45124	89%	1.16	1.98	89141	65%	4	43%	1.70
Fritidsrelateret transport	43757	34%	21555	43%	0.99	2.00	43207	31%	4	51%	2.03
< 5 km	1764	1%	869	2%	1.3	2.6	2272	2%	4	51%	2.03
5-25 km	10740	8%	5291	10%	1.3	2.6	13827	10%	4	51%	2.03
25-50 km	10863	8%	5351	11%	1.3	2.6	13985	10%	4	51%	2.03
> 50 km	20390	16%	10044	20%	0.6	1.3	13125	10%	4	51%	2.03
Arbejdsrelateret transport	32997	26%	23569	47%	1.4	1.9	45934	33%	4	35%	1.40
< 5 km	402	0%	287	1%	1.9	2.6	750	1%	4	35%	1.40
5-25 km	6003	5%	4288	8%	1.9	2.6	11205	8%	4	35%	1.40
25-50 km	9813	8%	7009	14%	1.9	2.6	18317	13%	4	35%	1.40
> 50 km	16779	13%	11985	24%	0.9	1.3	15661	11%	4	35%	1.40
International transport	3199	2%	1280	3%	0.5	1.3	1672	1%	4	63%	2.50
Tog	8586	7%	70	0%	0.3	42.1	2951	2%	300	41%	122
National transport	7454	6%	62	0%	0.4	43.6	2708	2%	300	40%	120
Elektrisk	3280	3%	27	0%	0.2	25.7	703	1%	300	40%	120
Diesel	4174	3%	35	0%	0.5	57.6	2005	1%	300	40%	120
International transport - elektrisk	1132	1%	8	0%	0.2	28.9	243	0%	300	45%	135
Bus	9644	8%	648	1%	0.7	10.0	6451	5%	50	30%	15
National transport	7621	6%	592	1%	0.7	9.3	5492	4%	50	26%	13
< 5 km	170	0%	13	0%	0.9	12.2	161	0%	50	26%	13
5-25 km	2210	2%	172	0%	0.9	12.2	2097	2%	50	26%	13
25-50 km	1578	1%	123	0%	0.9	12.2	1496	1%	50	26%	13
> 50 km	3664	3%	285	1%	0.5	6.1	1738	1%	50	26%	13
International transport	2023	2%	56	0%	0.5	17.3	959	1%	52	70%	36
Cykel/gang	3248	3%	3248	6%	-	-	-	-	1	100%	1
National transport	3248	3%	3248	6%	-	-	-	-	1	100%	1
< 5 km	1809	1%	1809	4%	-	-	-	-	1	100%	1
5-25 km	1309	1%	1309	3%	-	-	-	-	1	100%	1
25-50 km	105	0%	105	0%	-	-	-	-	1	100%	1
> 50 km	25	0%	25	0%	-	-	-	-	1	100%	1
Fly	25059	19%	186	0%	1.3	176	32733	24%	171	79%	135
Indenrigsfly	691	1%	14	0%	2.8	139	1919	1%	91	55%	50
Udenrigsfly	24368	19%	172	0%	1.3	179	30814	22%	173	82%	141
< 1000 km	6092	5%	43	0%	1.6	220	9481	7%	173	82%	141
> 1000 km	18276	14%	129	0%	1.2	165	21333	16%	173	82%	141
Færge	2020	2%	4	0%	2.3	1281	4562	3%	1428	40%	567
Indenrigsfærge	224	0%	1	0%	3.3	588	731	1%	450	40%	180
Udenrigsfærge	1796	1%	2	0%	2.1	1653	3831	3%	1550	50%	775
TOTAL	128511	100%	50560	100%			137511	100%			

Tabel 20 Persontransport - Referencescenariet 2030

Persontransport 2050	Transportarbejde		Trafikarbejde		Energiforbrug				Kapacitet		Belægningsgrad	
	Mio pkm	%	Mio km	%	MJ/pkm	MJ/km	TJ	%	Personer	%	Personer	
Personbil og varevogn < 2 ton	98928	63%	57409	93%	1.04	1.79	102700	71%	4	43%	1.72	
National transport	94946	61%	55816	91%	1.06	1.81	100780	70%	4	43%	1.70	
Fritidsrelateret transport	54144	35%	26672	43%	0.90	1.82	48650	34%	4	51%	2.03	
< 5 km	1930	1%	951	2%	1.2	2.4	2294	2%	4	51%	2.03	
5-25 km	11749	8%	5788	9%	1.2	2.4	13961	10%	4	51%	2.03	
25-50 km	14065	9%	6928	11%	1.2	2.4	16712	12%	4	51%	2.03	
>50 km	26400	17%	13005	21%	0.6	1.2	15684	11%	4	51%	2.03	
Arbejdsrelateret transport	40802	26%	29144	47%	1.3	1.8	52130	36%	4	35%	1.40	
< 5 km	440	0%	314	1%	1.7	2.4	758	1%	4	35%	1.40	
5-25 km	6567	4%	4691	8%	1.7	2.4	11314	8%	4	35%	1.40	
25-50 km	12705	8%	9075	15%	1.7	2.4	21889	15%	4	35%	1.40	
> 50 km	21091	13%	15065	24%	0.9	1.2	18169	13%	4	35%	1.40	
International transport	3982	3%	1593	3%	0.5	1.2	1921	1%	4	63%	2.50	
Tog	8803	6%	72	0%	0.3	38.2	2737	2%	300	41%	123	
National transport	7642	5%	64	0%	0.3	39.4	2512	2%	300	40%	120	
Elektrisk	3363	2%	28	0%	0.2	23.3	652	0%	300	40%	120	
Diesel	4280	3%	36	0%	0.4	52.1	1860	1%	300	40%	120	
International transport - elektrisk	1161	1%	8	0%	0.2	26.2	225	0%	300	45%	135	
Bus	9888	6%	664	1%	0.6	9.2	6105	4%	50	30%	15	
National transport	7814	5%	607	1%	0.7	8.6	5197	4%	50	26%	13	
< 5 km	174	0%	14	0%	0.9	11.3	153	0%	50	26%	13	
5-25 km	2266	1%	176	0%	0.9	11.3	1984	1%	50	26%	13	
25-50 km	1618	1%	126	0%	0.9	11.3	1416	1%	50	26%	13	
> 50 km	3756	2%	292	0%	0.4	5.6	1644	1%	50	26%	13	
International transport	2074	1%	57	0%	0.4	15.9	908	1%	52	70%	36	
Cykel/gang	3248	2%	3248	5%	-	-	-	-	1	100%	1	
National transport	3248	2%	3248	5%	-	-	-	-	1	100%	1	
< 5 km	1809	1%	1809	3%	-	-	-	-	1	100%	1	
5-25 km	1309	1%	1309	2%	-	-	-	-	1	100%	1	
25-50 km	105	0%	105	0%	-	-	-	-	1	100%	1	
> 50 km	25	0%	25	0%	-	-	-	-	1	100%	1	
Fly	33420	21%	248	0%	0.9	117	29144	20%	171	79%	135	
Indenrigsfly	922	1%	18	0%	1.9	93	1709	1%	91	55%	50	
Udenrigsfly	32498	21%	230	0%	0.8	119	27435	19%	173	82%	141	
< 1000 km	8125	5%	57	0%	1.0	147	8442	6%	173	82%	141	
> 1000 km	24374	16%	172	0%	0.8	110	18994	13%	173	82%	141	
Færge	2210	1%	4	0%	1.8	1007	3920	3%	1428	40%	567	
Indenrigsfærge	245	0%	1	0%	2.6	462	628	0%	450	40%	180	
Udenrigsfærge	1965	1%	3	0%	1.7	1298	3292	2%	1550	50%	775	
TOTAL	156497	100%	61645	100%			144606	100%				

Tabel 21 Persontransport - Referencescenariet 2050

Godstransport	Transportarbejde		Trafikarbejde		Energiforbrug		Kapacitet		Belægningsgrad		
	Mio tkm	%	Mio km	%	MJ/tkm	MJ/km	TJ	%	Tons	%	Tons
Lastbil	19751	26%	2003	21%	1.7	16	32657	40%	24	41%	9.9
National	10003	13%	1191	12%	2.3	20	23391	29%	20	42%	8.4
< 50 km	1212	2%	144	1%	6.0	50	7274	9%	20	42%	8.4
50-200 km	4541	6%	541	6%	2.5	21	11443	14%	20	42%	8.4
> 200 km	4249	6%	506	5%	1.1	9	4674	6%	20	42%	8.4
International	9748	13%	812	8%	1.0	11	9266	11%	30	40%	12
< 50 km	12	0.02%	1	0.01%	6.0	72	73	0.1%	30	40%	12
50-200 km	269	0.4%	22	0%	2.5	30	673	1%	30	40%	12
> 200 km	9467	13%	789	8%	0.9	11	8520	11%	30	40%	12
Varebiler (2-6 ton)	3663	5%	7631	79%	10.0	5	36630	45%	1.0	48%	0.5
< 50 km	1241	2%	2585	27%	10.0	5	12407	15%	1.0	48%	0.5
> 50 km	2422	3%	5047	52%	10.0	5	24223	30%	1.0	48%	0.5
Tog	561	1%	1.6	0.02%	0.3	106	172	0.2%	932	37%	345
National transport	123	0.2%	0.4	0.005%	0.4	112	50	0.06%	750	37%	278
Elektrisk	102	0.1%	0.4	0.004%	0.3	92	34	0.04%	750	37%	278
Diesel	21	0.03%	0.1	0.001%	0.8	210	16	0.02%	750	37%	278
International transport - elektrisk	438	1%	1.2	0.01%	0.3	104	123	0.2%	1000	37%	370
Fly	633	1%	21.2	0.2%	10.8	323	6838	8.5%	50	60%	30
National transport	1	0.002%	0.1	0.001%	10.8	162	15	0.02%	25	60%	15
International transport	632	1%	21.1	0.2%	10.8	324	6823	8.5%	50	60%	30
Skib	50214	67%	1.4	0.01%	0.1	3269	4417	5.5%	68182	55%	37159
National transport	2073	3%	0.2	0.002%	0.2	2025	373	0.5%	25000	45%	11250
International transport	48141	64%	1.2	0.01%	0.1	3465	4044	5.0%	75000	55%	41250
TOTAL	74822	100%	9659	100%			80715	100%			

Tabel 22 Godstransport - Referencescenariet 2010

Godstransport	Transportarbejde		Trafikarbejde		Energiforbrug				Kapacitet	Belægningsgrad	
2020	Mio tkm	%	Mio km	%	MJ/tkm	MJ/km	TJ	%	Tons	%	Tons
Lastbil	24672	26%	2500	21%	1.5	14	36087	41%	24.1	41%	9.9
National	12437	13%	1481	12%	2.0	17	25406	29%	20.0	42%	8.4
< 50 km	1339	1%	159	1%	5.6	47	7459	8%	20.0	42%	8.4
50-200 km	5016	5%	597	5%	2.3	20	11736	13%	20.0	42%	8.4
> 200 km	6082	7%	724	6%	1.0	9	6211	7%	20.0	42%	8.4
International	12235	13%	1020	8%	0.9	10	10681	12%	30.0	40%	12
< 50 km	12	0.01%	1	0.01%	5.6	67	68	0.1%	30.0	40%	12
50-200 km	269	0.3%	22	0%	2.3	28	625	1%	30.0	40%	12
> 200 km	11954	13%	996	8%	0.8	10	9988	11%	30.0	40%	12
Varebiler (2-6 ton)	4554	5%	9486	79%	8.6	4	39347	44%	1.0	48%	0.5
< 50 km	1542	2%	3213	27%	8.6	4	13327	15%	1.0	48%	0.5
> 50 km	3011	3%	6273	52%	8.6	4	26020	29%	1.0	48%	0.5
Tog	673	1%	1.9	0.02%	0.3	100	194	0.2%	942.6	37%	349
National transport	123	0.1%	0.4	0.004%	0.4	106	47	0.05%	750.0	37%	278
Elektrisk	102	0.1%	0.4	0.003%	0.3	87	32	0.04%	750.0	37%	278
Diesel	21	0.02%	0.1	0.001%	0.7	200	15	0.02%	750.0	37%	278
International transport - elektrisk	550	1%	1.5	0.01%	0.3	99	147	0.2%	1000.0	37%	370
Fly	794	1%	26.5	0.2%	9.9	295	7839	8.9%	49.9	60%	30
National transport	1	0.001%	0.1	0.001%	9.9	148	13	0.02%	25.0	60%	15
International transport	793	1%	26.4	0.2%	9.9	296	7825	8.8%	50.0	60%	30
Skib	62711	67%	1.7	0.01%	0.1	3055	5094	5.8%	68927	55%	37606
National transport	2279	2%	0.2	0.002%	0.2	1880	381	0.4%	25000	45%	11250
International transport	60432	65%	1.5	0.01%	0.1	3217	4713	5.3%	75000	55%	41250
TOTAL	93404	100%	12017	100%			88560	100%			

Tabel 23 Godstransport - Referencescenariet 2020

Godstransport	Transportarbejde		Trafikarbejde		Energiforbrug		Kapacitet		Belægningsgrad		
2030	Mio tkm	%	Mio km	%	MJ/tkm	MJ/km	TJ	%	Tons	%	Tons
Lastbil	30820	26%	3120	21%	1.2	12	38211	41%	24.1	41%	9.9
National	15459	13%	1840	12%	1.7	14	26430	28%	20.0	42%	8.4
< 50 km	1479	1%	176	1%	4.9	41	7303	8%	20.0	42%	8.4
50-200 km	5541	5%	660	4%	2.1	17	11489	12%	20.0	42%	8.4
> 200 km	8439	7%	1005	7%	0.9	8	7638	8%	20.0	42%	8.4
International	15361	13%	1280	9%	0.8	9	11781	12%	30.0	40%	12
< 50 km	12	0.01%	1	0.01%	4.9	59	60	0.1%	30.0	40%	12
50-200 km	269	0.2%	22	0%	2.1	25	554	1%	30.0	40%	12
> 200 km	15080	13%	1257	8%	0.7	9	11167	12%	30.0	40%	12
Varebiler (2-6 ton)	5661	5%	11793	79%	7.5	4	42266	45%	1.0	48%	0.5
< 50 km	1917	2%	3994	27%	7.5	4	14315	15%	1.0	48%	0.5
> 50 km	3743	3%	7799	52%	7.5	4	27950	30%	1.0	48%	0.5
Tog	814	1%	2.3	0.02%	0.3	95	220	0.2%	952.0	37%	352
National transport	123	0.1%	0.4	0.003%	0.4	101	45	0.05%	750.0	37%	278
Elektrisk	102	0.1%	0.4	0.002%	0.3	83	30	0.03%	750.0	37%	278
Diesel	21	0.02%	0.1	0.001%	0.7	190	14	0.02%	750.0	37%	278
International transport - elektrisk	691	1%	1.9	0.01%	0.3	94	175	0.2%	1000.0	37%	370
Fly	997	1%	33.3	0.2%	8.1	242	8037	8.5%	49.9	60%	30
National transport	1	0.001%	0.1	0.001%	8.1	121	11	0.01%	25.0	60%	15
International transport	996	1%	33.2	0.2%	8.1	242	8026	8.5%	50.0	60%	30
Skib	78367	67%	2.1	0.01%	0.1	2723	5614	6.0%	69601	55%	38011
National transport	2505	2%	0.2	0.001%	0.1	1666	371	0.4%	25000	45%	11250
International transport	75862	65%	1.8	0.01%	0.1	2851	5243	5.6%	75000	55%	41250
TOTAL	116658	100%	14951	100%			94348	100%			

Tabel 24 Godstransport - Referencescenariet 2030

Godstransport	Transportarbejde		Trafikarbejde		Energiforbrug				Kapacitet		Belægningsgrad	
	2050	Mio tkm	%	Mio km	%	MJ/tkm	MJ/km	TJ	%	Tons	%	Tons
Lastbil		38367	26%	3885	21%	0.9	9	35919	37%	24.1	41%	9.9
National		19244	13%	2291	12%	1.3	11	24476	25%	20.0	42%	8.4
< 50 km		1634	1%	195	1%	3.9	33	6338	7%	20.0	42%	8.4
50-200 km		6122	4%	729	4%	1.6	14	9971	10%	20.0	42%	8.4
> 200 km		11488	8%	1368	7%	0.7	6	8167	8%	20.0	42%	8.4
International		19123	13%	1594	9%	0.6	7	11442	12%	30.0	40%	12.0
< 50 km		12	0.01%	1	0.01%	3.9	47	47	0.0%	30.0	40%	12.0
50-200 km		269	0.2%	22	0%	1.6	19	435	0%	30.0	40%	12.0
> 200 km		18842	13%	1570	8%	0.6	7	10960	11%	30.0	40%	12.0
Varebiler (2-6 ton)		7045	5%	14677	79%	6.9	3	48551	50%	1.0	48%	0.5
< 50 km		2386	2%	4971	27%	6.9	3	16444	17%	1.0	48%	0.5
> 50 km		4659	3%	9706	52%	6.9	3	32107	33%	1.0	48%	0.5
Tog		991	1%	2.8	0.01%	0.2	86	240	0.2%	960.3	37%	355
National transport		123	0.1%	0.4	0.002%	0.3	91	41	0.04%	750.0	37%	278
Elektrisk		102	0.1%	0.4	0.002%	0.3	75	28	0.03%	750.0	37%	278
Diesel		21	0.01%	0.1	0.000%	0.6	172	13	0.01%	750.0	37%	278
International transport - elektrisk		868	1%	2.3	0.01%	0.2	85	199	0.2%	1000.0	37%	370
Fly		1253	1%	41.8	0.2%	5.1	153	6405	6.6%	49.9	60%	30
National transport		1	0.001%	0.1	0.000%	5.1	77	7	0.01%	25.0	60%	15
International transport		1251	1%	41.7	0.2%	5.1	153	6399	6.6%	50.0	60%	30
Skib		98109	67%	2.6	0.01%	0.1	2150	5497	5.7%	70213	55%	38378
National transport		2754	2%	0.2	0.001%	0.1	1309	320	0.3%	25000	45%	11250
International transport		95355	65%	2.3	0.01%	0.1	2240	5177	5.4%	75000	55%	41250
TOTAL		145765	100%	18609	100%			96612	100%			

Tabel 25 Godstransport - Referencescenariet 2050

5.4 Detaljeret datadokumentation

5.4.1 Datakilder

Transportefterspørgsel 2010

Informationen om transportefterspørgsel er hovedsageligt indsamlet fra to forskellige datakilder: Danmarks Statistisk, Statbank Denmark (dst.dk, 2011) og "Transportvaneundersøgelsen" (TU) (DTU, 2010), DTU Transport – Danmarks Tekniske Universitet. Til denne undersøgelses formål var der tilgængelig data for året 2009 (dst.dk, 2011) og som et gennemsnit for perioden 2006-2010 (TU). Som en direkte effekt af de seneste års globale finansielle krise og den historisk set stærke sammenhæng imellem økonomisk vækst og væksten i transportefterspørgsel, er der ikke lavet nogen justeringer af den oprindelige data, da denne bliver betragtet som valid for referenceåret 2010. Den reelle udvikling af transportefterspørgslen i årene 2008-2010 er dog ikke enkel, da nogle transportformer oplevede små stigninger, imens andre oplevede små fald. Derudover var den oprindelige data i mange tilfælde ikke afgrænset til kun at inkludere transport af danske borgere eller varer forbrugt i Danmark. Passagertransport er opgjort i person-km/årligt og km/årligt, og godstransport er opgjort i ton-km/årligt og km/årligt. Opgørelsen i ton-km/person-km/år og km/år vil fremover blive refereret til som henholdsvis transportarbejde (ton-km/person-km) og trafikar-

bejde (km). Datakilder samt eventuelle justeringer af de oprindelige data, med det formål at imødekomme førnævnte transportafgrænsning, dokumenteres i de følgende afsnit.

Passagertransport

Biler og varevogne < 2 t

Transportefterspørgslen for biler og varevogne < 2 t er baseret på TU-datasættet, der viser gennemsnittet af 2006-2010 værdierne. Ud fra TU-dataene er en opdeling i fritids- og arbejdsrelateret transport mulig. Herudover er data underinddelt ud fra længden af de enkelte turer (<5km, 5-25km, 25-50km og >50km). Denne underinddeling er ligeledes tilgængelig i TU data. Der således ikke ændret i de oprindelige data. TU data omfatter dog også international transport med personbil og varevogne < 2ton, og denne er estimeret til at udgøre omkring 4 % af totalen.

Tog

Transportefterspørgslen for national togtransport er hentet fra StatBank Denmark – Statistics of Denmark (dst.dk, 2011). Data for transportefterspørgsel for international togtransport består af rejser imellem Danmark-Sverige og Danmark-Tyskland, hvoraf den førstnævnte udgør den største andel. Datakilden til den internationale transport er DSB's årsrapport fra 2009 (DSB, 2009). De oprindelige værdier er efterfølgende blevet reduceret med 50 % for udelukkende at omfatte den andel af transporten som udføres af danske statsborgere.

Bus

Transportefterspørgslen for national bustransport er hentet fra StatBank Denmark – Statistics of Denmark (dst.dk, 2011). På baggrund af TU-datasættet er transportefterspørgslen blevet yderligere underinddelt i forhold til turlængden (<5km, 5-25km, 25-50km og >50km). Transportefterspørgslen efter international bustransport er fra en nyligt udgivet rapport om international transport med turistbusser, skrevet af Incentive Partners (Incentive Partners, 2011).

Cykel/gang

Transportefterspørgslen efter cykel/gang er udledt af TU-datasættet, der viser gennemsnittet af 2006-2010 værdierne. Dataene er underinddelt i henhold til turlængden (<5km, 5-25km, 25-50km og >50km).

Fly

Transportefterspørgslen efter national og international flytransport er udledt fra StatBank Denmark – Statistics of Denmark (dst.dk, 2011). National transport omfatter alle rejser imellem danske lufthavne. International lufttransport består af alle internationale afgang og ankomster. For rejser, som inkluderer en mellemlanding, er kun den første/sidste del af den totale rejsedistance inkluderet. Af denne grund kan den totale efterspørgsel efter international lufttransport betragtes som et konservativt estimat. Den oprindelige data er blevet reduceret med 35 % og 25 % (40% af det totale er tilbage) for at tage forbehold for den del af transporten, der er relateret til henholdsvis udenlandske borgere og transit (cph.dk, 2008).

Skibstransport

Transportefterspørgslen for national og international skibstransport er fra StatBank Denmark – Statistics of Denmark (dst.dk, 2011). National skibstransport inkluderer alle turer imellem danske havne, og international skibstransport omfatter al transport imellem en national og udenlandsk havn. Den oprindelige værdi for international skibstransport er blevet reduceret med 50 % for at tage forbehold for den del af turene, der bliver foretaget af udenlandske statsborgere.

Godstransport

Lastbiler > 6 t

Transportefterspørgslen for national og international transport med lastbil er udledt fra StatBank Denmark – Statistics of Denmark (dst.dk, 2011). National transport omfatter den del af godstransporten med tunge køretøjer >6 ton som bliver udført af nationalt registreret køretøjer og som bliver udført indenfor landets grænser. International transport omfatter godstransport, der bliver udført af tunge køretøjer >6 ton som er registreret i Danmark men som foregår udenfor de danske grænser. Herudover er transport til og fra Danmark som udføres med internationalt registeret køretøjer inkluderet i den internationale andel. De oprindelige data for international transport er blevet reduceret med 50 % for at tage forbehold for den transportefterspørgsel, der er relateret til transport af gods, som ikke efterspørges i Danmark. Både national og international transportefterspørgsel er blevet underinddelt jævnt før rejselængden for de enkelte turer (dst.dk, 2011).

Varevogne > 2 t

Transportefterspørgslen for national godstransport med varevogne > 2t er udledt fra StatBank Denmark – Statistics of Denmark, og indbefatter al transport med nationalt registrerede varevogne > 2t inden for de nationale grænser. Eftersom at de oprindelige data var opgjort i person-km var det nødvendigt at estimere en belægningsgrad (person/varevogn) samt en gennemsnitlig kapacitetsudnyttelse (% belægning/varevogn) for at udregne transportefterspørgslen i ton-km (Concito, 2010). Belægningsgraden blev vurderet til 1,15 person/varevogn (dst.dk, 2011 og Concito, 2010) og den gennemsnitlige belægningsgrad til 48%. International transport med varevogne > 2t er ikke inkluderet.

Tog

Data for national godstransport med tog er fra StatBank Denmark – Statistics of Denmark (dst.dk, 2011), og omfatter al transport af gods, der bliver lastet eller aflastet i Danmark. Transit er derfor IKKE inkluderet. International togtransport af gods omfatter transport til/fra Danmark, hvor pålæsning eller aflæsning finder sted i Danmark. Eftersom at den oprindelige data kun omfattede transportefterspørgsel på nationale jernbaner var det nødvendigt at justere denne værdi således at der også blev taget højde for den del af transporten der finder sted på udenlandske jernbaner i forbindelse med transport af gods til/fra Danmark. Som en konsekvens af dette blev de oprindelige data ganget med en faktor på 3,65. Denne faktor er fundet med udgangspunkt i information mht. Hovedtransportruter for godstransport med tog til/fra Danmark. 90% af denne bliver transport imellem Danmark og Sverige, Danmark og Tyskland og Danmark og Italien (dst.dk, 2011). Faktorens størrelse svarer til en transportdistance på 2,65km på udenlandske jernbaner for hver 1km fragtet på nationale jernbaner.

Flytransport

Transportefterspørgslen for national flytransport er udledt fra StatBank Denmark – Statistics of Denmark (dst.dk, 2011), og omfatter den totale mængde transport af gods imellem to nationale lufthavne. Eftersom at det oprindelige data var opgjort i ton, blev en gennemsnitlig rejsedistance beregnet for at kunne estimere transportefterspørgslen i ton-km. En rejsedistance på 230km (afstanden fra CPH lufthavn – Aalborg lufthavn) blev brugt for at estimere den endelige transportefterspørgsel i ton-km.

Transportefterspørgslen for international godstransport med fly er taget fra StatBank Denmark – Statistics of Denmark (dst.dk, 2011), og omfatter transport af gods imellem nationale lufthavne og udenlandske lufthavne. Som for national transport er international transport også opgjort i ton, og en gennemsnitlig rejsedistance blev derfor også introduceret her for at beregne transportefterspørgslen i ton-km. Eftersom at hoved lufttransportruterne er DK-Asien og DK-US, er den gennemsnitlige rejsedistance estimeret til at være 8000 km. For at tage højde for import/eksport er data efterfølgende reduceret med 50 %.

Skibstransport

Data for national transport inkluderer godstransport imellem to nationale havne. International transport omfatter godstransport imellem en national og udenlandsk havn. Begge datasæt er udledt fra StatBank Denmark – Statistics of Denmark. Eftersom at den oprindelige data for international transport var opgjort i ton, blev en gennemsnitlig rejsedistance beregnet for at kunne estimere transportefterspørgslen i ton-km. En gennemsnitlig rejsedistance på 1465km blev beregnet på baggrund af information om hovedtransportruter (dst.dk, 2011). For at kunne tage højde for import/eksport er den oprindelige værdi efterfølgende reduceret med 50%.

Specifik energiefterspørgsel 2010

Specifikt energiforbrug er her defineret som den energi, der er nødvendig for at bevæge én passager, et ton gods eller bevæge et køretøj 1km. Det specifikke energiforbrug (MJ/pkm MJ/tkm eller MJ/km) for de forskellige transportformer kan udledes fra information om brændstoffsforbrug og transportefterspørgsel og/eller fra resultater af "drive-cycle tests". I denne undersøgelse er hovedparten baseret på den første metode. I det følgende vil en detaljeret dokumentation af den specifikke energiefterspørgsel for alle transportformer blive forelagt. Se tabel 18 til 25 for detaljeret information om energiforbrug.

Passagertransport

Biler og varevogne < 2 t

For passagertransport med biler og varevogne < 2 t er det specifikke energiforbrug (gennemsnitligt 1,77 MJ/Pkm eller 2,66 MJ/km) beregnet på baggrund af information om brændstofforbrug (Energistyrelsen, 2009), transportefterspørgsel (dst.dk, 2011) og passagerantal pr. køretøj Transportministeriet, 2010). Dette svarer til et gennemsnitligt brændstofforbrug på ca. 13 km/l i 2010. For at kunne differentiere imellem det specifikke energiforbrug i forhold til turlængden (højere forbrug på kortere ture og vice versa), er estimer fra den svenske rapport "Tvågradersmålet" anvendt. Her bliver det vurderet, at det specifikke energiforbrug (MJ/pkm) er omtrent to gange højere for korte ture < 100 km sammenlignet med lange ture >100km. Med udgangspunkt heri er det specifikke energiforbrug for ture >50km vurderet til at være 50 %

lavere sammenlignet med kortere ture (< 50km). Al international transport betragtes som værende udgjort af ture >50km. Herudover er det endelige specifikke energiforbrug justeret i forhold til antallet af passagerer pr. køretøj; en højere lastfaktor for fritidsrelateret transport sammenlignet med arbejdsrelateret transport. Ligeledes blev en højere lastfaktor brugt til international transport. Se desuden tabel 18 til 25.

Tog

Det specifikke energiforbrug for national og international passagertogtransport er beregnet på baggrund af information om energiforbrug, kapacitet og lastfaktorer for de forskellige togtyper (Transportministeriet, 2010). Ved at sammenholde dette med passager-vægtede andele af forskellige togtyper, er den endelige specifikke energiefterspørgsel for elektriske og dieseldrevne toge beregnet. Ikke overraskende bruger dieseltoge ca. 2,5 gange mere energi per km sammenlignet med elektriske toge. International togtransport antages at bestå udelukkende af elektriske toge.

Bus

For passagertransport med bus er det specifikke energiforbrug beregnet på baggrund af information om brændstoffsforbrug (Energistyrelsen, 2009) og transportefterspørgsel (dst.dk, 2011). For at kunne differentiere imellem det specifikke energiforbrug i forhold til turens længde (højere forbrug på kortere ture, og vice versa) er vurderinger fra den svenske rapport 'Tvågradersmålet i sikte?' blevet anvendt. Her estimeres det, at det specifikke energiforbrug (MJ/pkm) er omtrent to gange højere for korte ture < 100km sammenlignet med længere ture > 100km. Med udgangspunkt heri er det specifikke energiforbrug for ture >50km estimeret til at være 50% lavere sammenlignet med kortere ture (<50km). Internationale transport med bus antages udelukkende at være bestående af ture > 50km.

Cykel/Fodgængere

Der er ikke noget energiforbrug tilknyttet til disse transportsegmenter.

Flytransport

Det specifikke energiforbrug for national og international luftfart er beregnet med udgangspunkt i information om brændstofforbrug (Energistyrelsen, 2010) og transportefterspørgsel (dst.dk, 2011). Det specifikke energiforbrug for langdistance international luftfart (>1000km) er udregnet til at være 25 % lavere sammenlignet med kortdistance international luftfart (<1000km) (IFEU, 2010). Den primære årsag til denne forskel skyldes den stigende betydning af taxiing [kørsel på jorden], take-off, stigning og landing på korte ture (IFEU, 2010). National luftfart i Danmark er selvfølgelig begrænset til kun at inkludere kortere ture (<230km) pga. størrelsen på det danske territorie.

Skibstransport

For passagertransport med skib er det specifikke energiforbrug beregnet på baggrund af data for hurtige (>28 knob) og langsomme (<28 knob) færges fra den svenske rapport "tvågradersmålet i sikte" (Åkermann m.fl, 2007), og information om andelen af hurtige/langsomme færges, der udfører national og international transport i Danmark (dst.dk, 2011). For national søtransport er andelen af langsomme vs. hurtige færges ca. 50/50, hvorimod langsomme færges står for 90 % af international transport. Hurtigfærges bruger ca. 3 gange mere energi per pkm sammenlignet med langsomme færges.

Godstransport

Tunge køretøjer > 6 t

For national godstransport med tunge køretøjer > 6t er det specifikke energiforbrug beregnet på baggrund af information om brændstofforbrug (Energistyrelsen, 2010) og transportefterspørgsel (Danmarks statistik, 2011). For at kunne differentiere imellem det specifikke energiforbrug i forhold til turlængde og national vs. international transport er energiefterspørgslen udledt fra (Åkermann m.fl, 2007). ≈ 100% af den internationale transport er antaget som værende > 200 km og karakteriseret med et specifikt energiforbrug på ≈1 MJ/ton-km. For national transport anvendes en gennemsnitlig værdi på 2,3 MJ/ton-km. Denne er beregnet ud fra (Energistyrelsen, 2010) og (Danmarks statistik, 2011). Fra (Åkermann m.fl, 2007) kan det ses, at kortdistancetransport (<100km) bruger ca. 3 gange mere energi per ton-km sammenlignet med langdistancetransport (>100km). I dette projekt anvendes et energiforbrug på ca. 6 MJ/tonkm for korte distancer (<50km) og 1,1 MJ/tonkm på længere distancer (>200km).

Varevogne > 2 t

For national godstransport med varevogne > 2 t er det specifikke energiforbrug beregnet på baggrund af information om brændstofforbrug (Energistyrelsen, 2010), transportefterspørgsel (Danmarks statistik, 2011) og køretøjskapacitet og lastfaktorer (Transportministeriet, 2010).

Tog

Det specifikke energiforbrug for national og international toggodstransport er beregnet på baggrund af resultaterne fra (IFEU Heidelberg Öko-Institut IVE/RMCON, 2010). Ud fra dette er det muligt at beregne det specifikke energiforbrug for elektriske toge på baggrund af forholdet imellem energiforbrug og togets vægt. For at kunne estimere det specifikke energiforbrug for dieseltog bliver forholdet imellem energiforbrug for diesel/elektrisk passagertogtransport brugt. Ud fra dette kan det ses, at dieseltog bruger ca. 2,5 gange mere energi per pkm. International togtransport antages kun at bestå af elektriske toge.

Flytransport

Det specifikke energiforbrug for national og international lufttransport er baseret på beregninger fra (Åkermann m.fl, 2007), som omfatter svensk lufttransport.

Skibstransport

Det specifikke energiforbrug for national skibstransport er baseret på beregninger fra (Åkermann m.fl, 2007), der omfatter svensk national skibstransport. For international skibstransport udgør det specifikke

energiforbrug et vægtet gennemsnit, der er beregnet på baggrund af detaljeret information om energiforbrug og udledning fra den del af Mærskes flåde, der sejler til/fra det nordlige Europa (shippingefficiency.dk, 2011). For at kunne vurdere det reelle energiforbrug, frem for det potentielle, er der anvendt lastfaktorer på 45% og 55% for henholdsvis national og international transport.

Lastfaktorer og køretøjskapacitet 2010

Lastfaktor refererer til antallet af personer eller mængden af gods, der kan transporteres per tur. Køretøjskapacitet refererer til de enkelte transportformers kapacitet til at transportere passagerer eller gods. For det enkelte køretøj har lastfaktoren en lille betydning for energiefterspørgslen, bortset fra busser og tunge køretøjer >6t, men den har stor betydning for passager- og godsspecifikt energiforbrug. En forøgelse af lastfaktoren vil føre til en reduceret passager- og godsspecifik efterspørgsel og omvendt hvis lastfaktoren nedsættes (Transportministeriet, 2010).

Lastfaktoren og køretøjskapaciteten for de enkelte transportformer, der er brugt i den nuværende undersøgelse, er hovedsageligt udledt eller beregnet på baggrund af (dst.dk, 2011) og (Transportministeriet, 2010). Disse datakilder indeholder dog ikke information om international transport, hvilket er fundet andet steds. Med mindre andet er angivet, så er alle lastfaktorer gennemsnitlige værdier, der ikke refererer til en bestemt type af tur (bymæssig, langdistance osv.). De enkelte lastfaktorer og kapaciteter vil blive dokumenteret i det følgende afsnit. Se endvidere tabel 18-25 for et overblik over køretøjskapaciteter og lastfaktorer for forskellige transportformer.

Passagertransport

Biler og varevogne < 2 t

Lastfaktor- og køretøjskapacitetsdata er baseret på en undersøgelse fra 2008 af Vejdirektoratet, hvor der i 2008 gennemsnitlig er henholdsvis ca. 1,5/køretøj og 4 personer (vejdirektoratet.dk, 2008). For at kunne differentiere i mellem lastfaktorer for national og international transport samt i mellem lastfaktorer for fritids- og arbejdsrelaterede rejser, er der gjort følgende antagelser: Lastfaktorer for international transport er højere end for national transport, mens lastfaktorer for arbejdsrelateret transport er lavere end fritidsrelateret transport. Lastfaktorer for arbejdsrelateret rejser er sat til ca. 1,4 person/køretøj, mens det for fritidsrelateret transport er sat til 2 personer/køretøj. Lastfaktoren for international transport nærmer sig 2,5 personer/køretøj.

Tog

Lastfaktor og køretøjskapaciteter for togtransport beregnes på baggrund af data fra Transportministeriet (Transportministeriet, 2010), hvorfra de er estimeret til henholdsvis 40% og 300 passagerer/tog. Den gennemsnitlige lastfaktor for international transport nærmer sig 45%.

Bus

Lastfaktor og køretøjskapaciteter for national transport beregnes på baggrund af data fra Transportministeriet (Transportministeriet, 2010), og fra Incentive partners (Incentive partners, 2011), der indeholder information om andelen af international passagertransport med bus. Ud fra disse datakilder kan det ses,

at den gennemsnitlige lastfaktor for international transport er mere end to gange større end national transport, 70% sammenlignet med 26%. Den gennemsnitlige køretøjskapacitet er omkring 50 personer/bus for både national og international transport.

Cykel/gang

Lastfaktor og køretøjskapacitet for cykel og gang er sat til 1.

Fly

Der er store forskelle i mellem den gennemsnitlige køretøjskapacitet og lastfaktor for national og international luftfart. For national luftfart er den gennemsnitlige køretøjskapacitet og lastfaktor henholdsvis 90 personer/fly og 55% (Transportministeriet, 2010), mens de for international luftfart er henholdsvis 170 personer/fly og 82% (check-in.dk, 2010).

Skibstransport

For national skibstransport er køretøjskapaciteten 450 personer/skib og lastfaktoren er 40%, mens for international skibstransport er køretøjskapaciteten 1550 personer/skib og lastfaktoren 50%

Godstransport

Lastbiler > 6 t

Den gennemsnitlig lastfaktor og køretøjskapacitet for national og international godstransport med tunge køretøjer er udledt fra Statbank – Danmark, Danmarks Statistik (dst.dk, 2011). International godstransport er kendetegnet ved højere kapaciteter og lavere lastfaktor sammenlignet med den nationale gods-transport, da international godstransport har en køretøjskapacitet på 12 ton/lastbil og en lastfaktor på 40%, mens national godstransport har en køretøjskapacitet på 8 ton/lastbil og en lastfaktor på 42%.

Varevogne > 2 t

Specifikke lastfaktorer og køretøjskapaciteter for varevogne > 2 ton er svære at fastsætte, da disse køretøjer bruges både til gods- og passagertransport. For den nuværende undersøgelse bliver der brugt en lastfaktor på 48% og en køretøjskapacitet på 1 ton/varevogn (Transportministeriet, 2010).

Tog

For både national og international transport er der anvendt en lastfaktor på 37%. Den gennemsnitlige køretøjskapacitet anvendt for international transport er 1000 ton/tog, mens den anvendte for national transport er 750 ton/tog (Transportministeriet, 2010).

Lufttransport

Køretøjskapaciteten for national lufttransport er estimeret til 25 ton/fly, mens den for international transport er estimeret til 50 ton/fly. Lastfaktoren er estimeret til 60% for både international og national lufttransport.

Skibstransport

For international skibstransport er den gennemsnitlige køretøjskapacitet beregnet på baggrund af information fra den del af Mærskes flåde, der sejler til og fra det nordlige Europa (shippingefficiency.org, 2011). Ud fra dette er en gennemsnitlig køretøjskapacitet på 75000 ton beregnet. Til sammenligning blev køretøjskapaciteten for national transport estimeret til at være 25000. Lastfaktoren er sat til 45% for national skibstransport og til 55% for international transport.

5.4.2 Transport- og energiefterspørgsel 2010-2050

Dette afsnit indeholder Information vedrørende væksten i transportefterspørgslen og energieffektivitetsforbedringer for perioden 2010-2050 for referencescenariet.

Vækst i transportefterspørgsel 2010-2050 - referencescenariet

Fremskrivningerne for transportefterspørgslen for perioden 2010-2050 er baseret på projektioner, der forekommer i (Infrastrukturkommissionen, 2009) og (European Commission, 2009). Projektionerne omfatter dog kun den første del (2010-2030) af 2010-2050 perioden, og der er derfor udarbejdet en særskilt fremskrivning af den sidste del af perioden (2030-2050). Overordnet stiger transportefterspørgslen med 79 % og 95 % for henholdsvis passager- og godstransport i perioden 2010-2050. Passagertransportefterspørgslen vil stige fra ca. 88.000 mio.-pkm i 2010 til 157.000 mio.-pkm i 2050. Godstransportefterspørgsel vil stige til ca. 146.000 mio.-tkm i 2050 sammenlignet med 75.000 mio.-tkm i 2010 (se tabel 17-24). Dette svarer til årlige vækstrater på 1,5% for passagertransport og 1,7% for godstransport. Se tabel 25 og 26 for et detaljeret overblik over fremskrivningerne af transportefterspørgslen i referencescenariet i perioden 2010 - 2050. For passagertransport findes de højeste vækstrater ved biler og varevogne <2ton og for national og international luftfart. For godstransportefterspørgsel ses den største stigning inden for nationale og internationale tunge køretøjer > 200 km sammen med international luft- og skibstransport. Den projekterede udvikling i transportefterspørgslen for de enkelte transportformer bliver dokumenteret i det følgende.

Vækst i transportefterspørgsel	2010-2020	2020-2030	2030-2050	2010-2050
Passagertransport	%/årligt	%/årligt	%/årligt	%
Biler og varevogne < 2 t	2,2%	2,1%	1,1%	90%
Fritid*	2,2%	2,1%	1,1%	90%
< 5 km	0,9%	0,9%	0,5%	31%
5-25 km	0,9%	0,9%	0,5%	31%
25-50 km	2,7%	2,6%	1,3%	118%
> 50 km	2,7%	2,6%	1,3%	118%
Arbejde*	2,2%	2,1%	1,1%	90%
< 5 km	0,9%	0,9%	0,5%	31%
5-25 km	0,9%	0,9%	0,5%	31%
25-50 km	2,7%	2,6%	1,3%	118%
> 50 km	2,7%	2,3%	1,2%	106%
International*	2,2%	2,2%	1,1%	92%
National tog	0,3%	1,3%	0,1%	20%
National togl (diesel)	0,3%	1,3%	0,1%	20%

National tog (elektricitet)	0,3%	1,3%	0,1%	20%
International tog (elektricitet)	0,3%	0,3%	0,1%	8%
National bus	0,3%	0,3%	0,1%	8%
< 5 km	0,3%	0,3%	0,1%	8%
5-25 km	0,3%	0,3%	0,1%	8%
25-50 km	0,3%	0,3%	0,1%	8%
> 50 km	0,3%	0,3%	0,1%	8%
International bus	0,3%	0,3%	0,1%	8%
Cykel/fodgænger	0,0%	0,0%	0,0%	0%
< 5 km	0,0%	0,0%	0,0%	0%
5-25 km	0,0%	0,0%	0,0%	0%
25-50 km	0,0%	0,0%	0,0%	0%
> 50 km	0,0%	0,0%	0,0%	0%
National luftfart	3,2%	2,9%	1,5%	143%
International luftfart	3,2%	2,9%	1,5%	143%
International luftfart (1-1000 km)	3,2%	2,9%	1,5%	143%
International luftfart (> 1000 km)	3,2%	2,9%	1,5%	143%
National skibstransport	0,9%	0,9%	0,5%	31%
International skibstransport	1%	1%	0%	31%
Total (%)	21%	21%	22%	79%

Tabel 26 Fremskrivning af passagertransportefterspørgsel 2010-2050

Vækst i transportefterspørgsel	2010-2020	2020-2030	2030-2050	2010-2050
Godstransport	%/årligt	%/årligt	%/årligt	%
National lastbil	2,2%	2,2%	1,1%	92%
< 50 km	1,0%	1,0%	0,5%	35%
50-200 km	1,0%	1,0%	0,5%	35%
> 200 km	3,7%	3,3%	1,6%	170%
International lastbil	2,3%	2,3%	1,1%	96%
<50 km	0,0%	0,0%	0,0%	0%
50-200 km	0,0%	0,0%	0,0%	0%
> 200 km	2,4%	2,4%	1,1%	99%
Varevogn (2-6 t)	2,2%	2,2%	1,1%	92%
< 50 km	2,2%	2,2%	1,1%	92%
> 50 km	2,2%	2,2%	1,1%	92%
National tog	0,0%	0,0%	0,0%	0%
National tog (diesel)	0,0%	0,0%	0,0%	0%
National tog (elektricitet)	0,0%	0,0%	0,0%	0%
International tog (elektricitet)	2,3%	2,3%	1,2%	98%
National lufttransport	0,0%	0,0%	0,0%	0%
International lufttransport	2,3%	2,3%	1,2%	98%
National skibstransport	1,0%	1,0%	0,5%	33%
International skibstransport	2,3%	2,3%	1,2%	98%
Total (%)	25%	25%	25%	95%

Tabel 27 Fremskrivning af godstransportefterspørgsel 2010-2050

Passagertransport

Biler og varevogne < 2t

Vækstraterne for passagertransport med biler og varevogne < 2 t (national og international) er baseret på fremskrivningerne i Infrastrukturkommissionens betænkning som blev præsenteret i rapporten "Danmarks Transportinfrastruktur 2030" i januar 2008 (Infrastrukturkommissionen, 2009). For den nuværende undersøgelses formål er vækstraterne differentieret i henhold til turlængden. Eftersom at fremskrivningen i infrastrukturkommissionens betænkning kun omfatter den første del af 2010-2050 perioden (2010-2030) er der lavet separate antagelser omkring den sidste del af perioden (2030-2050). I perioden 2030-2050 er væksten således halveret sammenlignet med 2010-2030 (Tabel 26). Dette skyldes forudsætningen om en vis mætning i efterspørgslen på persontransport fra 2030.

Tog

Vækstraterne for passagertransport med tog (national og international) er baseret på fremskrivningerne i Infrastrukturkommissionens betænkning som blev præsenteret i rapporten "Danmarks Transportinfrastruktur 2030" i januar 2008 (Infrastrukturkommissionen, 2009). Eftersom at fremskrivningen i infrastrukturkommissionens betænkning kun omfatter den første del af 2010-2050 perioden (2010-2030) er der lavet separate antagelser omkring den sidste del af perioden (2030-2050). I perioden 2030-2050 er væksten således halveret sammenlignet med 2010-2030 (se Tabel 26). Herudover er der taget højde for den forventede effekten af timemodellen som blev præsenteret af regeringen i December 2008.

Bus

Vækstraterne for passagertransport med bus (national og international) er baseret på fremskrivningerne i Infrastrukturkommissionens betænkning som blev præsenteret i rapporten "Danmarks Transportinfrastruktur 2030" i januar 2008 (Infrastrukturkommissionen, 2009). Eftersom at fremskrivningen i infrastrukturkommissionens betænkning kun omfatter den første del af 2010-2050 perioden (2010-2030) er der lavet separate antagelser omkring den sidste del af perioden (2030-2050). I perioden 2030-2050 er væksten således halveret sammenlignet med 2010-2030 (se Tabel 26).

Cykel/fodgænger

Fremskrivningerne for perioden 2010-2050 er baseret på trenden for perioden 1999-2009 fra Danmarks statistik (dst.dk, 2011). Her ses en klar tendens med hensyn til udviklingen i transportarbejdet for cykel/gang – ingen vækst.

Flytransport

Fremskrivningen af transportarbejdet for national og international passagertransport med fly er baseret på fremskrivningerne fra PRIMES modellen som er præsenteret i udgivelsen "Energy trends 2030 – update 2009" (European Commission, 2009).

Skibstransport

Fremskrivningen af transportarbejdet for national og international passagertransport med skib er baseret på fremskrivningerne fra PRIMES modellen som er præsenteret i udgivelsen "Energy trends 2030 – update 2009" (European Commission, 2009).

Godstransport

Lastbiler > 6 t

Udviklingen i transportarbejdet for godstransport med national og international lastbil i perioden 2010-2050 er baseret på fremskrivningerne i Infrastrukturkommissionens betænkning som blev præsenteret i rapporten "Danmarks Transportinfrastruktur 2030" i januar 2008 (Infrastrukturkommissionen, 2009). Eftersom at fremskrivningen i infrastrukturkommissionens betænkning kun omfatter den første del af 2010-2050 perioden (2010-2030) er der lavet separate antagelser omkring den sidste del af perioden (2030-2050). I perioden 2030-2050 er væksten således halveret sammenlignet med 2010-2030 (se Tabel 27).

Varevogne > 2 t

Udviklingen i transportarbejdet for godstransport med varevogne er baseret på fremskrivningerne i Infrastrukturkommissionens betænkning som blev præsenteret i rapporten "Danmarks Transportinfrastruktur 2030" i januar 2008 (Infrastrukturkommissionen, 2009). Eftersom at fremskrivningen i infrastrukturkommissionens betænkning kun omfatter den første del af 2010-2050 perioden (2010-2030) er der lavet separate antagelser omkring den sidste del af perioden (2030-2050). I perioden 2030-2050 er væksten således halveret sammenlignet med 2010-2030 (se Tabel 27).

Tog

Udviklingen i transportarbejdet for godstransport med tog er baseret på fremskrivningerne i Infrastrukturkommissionens betænkning som blev præsenteret i rapporten "Danmarks Transportinfrastruktur 2030" i januar 2008 (Infrastrukturkommissionen, 2009). Eftersom at fremskrivningen i infrastruktur-

kommissionens betænkning kun omfatter den første del af 2010-2050 perioden (2010-2030) er der lavet separate antagelser omkring den sidste del af perioden (2030-2050). I perioden 2030-2050 er væksten således halveret sammenlignet med 2010-2030 (se Tabel 27).

Flytransport

Udviklingen i transportarbejdet for godstransport med fly er baseret på fremskrivningerne i Infrastrukturkommissionens betænkning som blev præsenteret i rapporten "Danmarks Transportinfrastruktur 2030" i januar 2008 (Infrastrukturkommissionen, 2009). Eftersom at fremskrivningen i infrastrukturkommissionens betænkning kun omfatter den første del af 2010-2050 perioden (2010-2030) er der lavet separate antagelser omkring den sidste del af perioden (2030-2050). I perioden 2030-2050 er væksten således halveret sammenlignet med 2010-2030 (se Tabel 27).

Skibstransport

Udviklingen i transportarbejdet for godstransport med skib er baseret på fremskrivningerne i Infrastrukturkommissionens betænkning som blev præsenteret i rapporten "Danmarks Transportinfrastruktur 2030" i januar 2008 (Infrastrukturkommissionen, 2009). Eftersom at fremskrivningen i infrastrukturkommissionens betænkning kun omfatter den første del af 2010-2050 perioden (2010-2030) er der lavet separate antagelser omkring den sidste del af perioden (2030-2050). I perioden 2030-2050 er væksten således halveret sammenlignet med 2010-2030 (se Tabel 27).

Energieffektivitetsforbedringer 2010-2050

Tabel 28 viser antagelserne vedrørende energieffektiviseringer i referencescenariet for persontransport og godstransport i perioden 2010-2050. Størrelsen på effektiviseringen for de enkelte transportmidler er baseret på Energistyrelsens og COWI's excel-baseret værktøj Teknologivurdering af alternative til transportsektoren samt på estimater som er blevet vurderet på arbejdsgruppemøder i det nuværende projekt. Effektiviseringerne som er vist i Tabel 28 gælder kun for de køretøjer som i det pågældende år stadig anvender forbrændingsmotorer (ICE – Internal combustion Engine). For toge (passager og gods) omfatter effektiviseringen også elektriske togsæt.

Energieffektiviseringer	2010-2020		2010-2030		2010-2050	
Referencescenariet	%/år	%	%/år	%	%/år	%
Personbil	1,45	13,6	1,45	25,3	0,4	31,1
Tog	0,5	4,9	0,5	9,5	0,5	18,1
Bus	0,74	7,2	1	16	0,4	19,3
Fly	0,9	8,6	2	25,4	2	50,2
Skib	0,74	7,2	1,2	17,7	1,2	35,4
Lastbil	0,74	7,2	1,2	17,7	1,2	35,4
Varebil	1,45	13,6	1,45	25,3	0,4	31,1
Tog	0,5	4,9	0,5	9,5	0,5	18,1
Fly	0,9	8,6	2	25,4	2	50,2
Skib	0,74	7,2	1,2	17,7	1,2	35,4
Militær, fiskeri og landbrug	1,2	11,4	1,2	21,5	1,4	40,8

Tabel 28 Energieffektiviseringer i referencescenariet. Reduktion i procent pr år samt i alt i forhold til 2010

Bilag 6

Dokumentation af teknologiscenariet

Teknologirådets teknologi-scenarie er udarbejdet med udgangspunkt i mange af de samme rammebetingelser og udviklingstendenser som er beskrevet i afsnittet i reference-scenariet. Der er således ikke ændret i forventningerne til væksten i transportarbejdet, trafikarbejdet eller kapacitetsudnyttelsen for teknologiscenariet. Af denne årsag besidder de enkelte transportsegmenter de tilsvarende markedsandele i teknologiscenariet som i referencen. Herudover er der ikke foretaget ændringer i de økonomiske rammebetingelser, som er bevaret på samme niveau som i referencen. De vigtigste af disse omfatter olieprisen, CO2 prisen samt udlånsrenten. Til forskel fra reference-scenariet er der i teknologi-scenariet introduceret en bred vifte af transportmiddel-specifikke drivmidler igennem hele forløbet 2010-2050. Andelen af de traditionelle teknologier som kan erstattes med alternative drivmidler, herunder i særdeleshed rene el-løsninger og hybridløsninger til lette køretøjer og jernbane, samt hybridløsninger, biobrændsler og syntetiske brændsler til tungere køretøjer og fly, er overordnet set baseret på de enkelte transportmidlers levetid, drivmidlernes egenskaber og teknologiernes modenhed i dag og i fremtiden (European Expert Group on Future Transport Fuels, 2011). Der er udelukkende implementeret teknologier og brændstoffer som er kommercielle i dag eller som ventes at blive det i en nær fremtid. Teknologierne omfatter batteridrevne køretøjer, hybridkøretøjer (batteri kombineret med en brændselscelle og batteri kombineret med en mindre forbrændingsmotor) og traditionelle forbrændingsmotorer med højere virkningsgrader. I både hybridkøretøjet og i den traditionelle forbrændingsmotor kan drivmidlet teoretisk set udgøres af 0-100 % biobrændsler. På kort sigt (2010-2030) vil biobrændslerne i høj grad iblandes (0-25 %) de traditionelle fossile brændstoffer mens de på lang sigt (2030-2050) kan udgøre væsentlige andele af de flydende brændstoffer, og potentielt 100 %. Årsagen til den gradvise indfasning skyldes at det er nødvendigt at udvikle specielt designede køretøjer i forbindelse med at koncentrationen af biobrændslerne stiger. I denne sammenhæng spiller køretøjernes levetid en væsentlig rolle. I teknologiscenariet er det IKKE antaget at der implementeres virkemidler med henblik på at reducere køretøjernes levetid. For al vejtransport er det antaget, at der foregår to fuldstændige skift af materiellet i perioden 2010-2050. For jernbane, søtransport og flytransport foregår halvdanet skift. Dette svarer til en levetid på 15-20 år for biler, varebiler, busser og lastbiler, og en levetid på 25-35 for toge, færger, containerskibe og fly.

Biobrændsler i teknologiscenariet

Eftersom forskellige transportmidler stiller forskellige krav til brændstoffers, og dermed også biobrændstoffers, egenskaber som energibærere er det tilstræbt at tilknytte de forskellige biobrændsler til de transportformer som først og fremmest kan anvende dem og som ligeledes udnytter dem mest effektivt. BTL (biomass to liquid) dækker i denne sammenhæng over en bred vifte af transportmiddel-specifikke transportbrændsler som alle er baseret på biomasse (inklusiv planteolier) og omfatter således også syntetiske biobrændsler. Alle BTL samt biogas antages at være CO2 neutrale i en Tank-to-Wheel (TtW) og i en Well-to-Wheel (WtW) betragtning. Der er således intet drivhusgasudslip forbundet med anvendelsen af biomasse til transportformål. Mht. energiforbrug så er det antaget at BTL har tilnærmelsesvis samme TtW virkningsgrader som de traditionelle fossile brændsler (diesel/benzin). Derimod varierer WtW energiforbruget markant i henhold til kvaliteten af de enkelte biobrændstoffer som transportdrivmidler. Jævnfør studiet 'Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context' fra

2007 stiger WtW energiforbruget med en faktor 1,25-2,5 i forbindelse med at biobrændsler erstatter diesel og benzin (JRC, m.fl., 2007).

I teknologiscenariet dækker BTL over følgende biomassebaseret brændsler:

- Tunge køretøjer og fly: HVO, DME og biogas
- Personbiler og varebiler < 2t: 2.g bioethanol, 2.g biodiesel, Syntetisk biodiesel
- Varebiler 2-6ton: 2.g Biodiesel, 2.g bioethanol, syntetisk biodiesel, DME

Bilag 7

Cykeleksempler

Hastighedsbegrænsning for biler i Freiburg

Vejene med en maksimal hastighed på 30 kilometer i timen i Freiburg, Tyskland, giver cyklister og fodgængere forsteret over motorkøretøjer. De fleste beboelsesgader i Tyskland har denne hastighedsbegrænsning, hvilket forbedrer forholdene for cykler markant, også selvom der ikke alle steder er cykelstier. I Freiburg foregår 22 % af alle indbyggernes ture på cykel. (Pucher m. fl, 2008 og Fietsberaad, 2009)

Cykelstier i Odense

Separate cykelstier i Odense er så sikre og bekvemme at de tiltrækker mænd og kvinder, unge som ældre. Kantsten adskiller cykelstierne fra kørebanerne på den ene side og fortovet mod den anden side. I Odense foregår 26 % af alle indbyggernes ture på cykel. (Pucher m. fl, 2008 og Fietsberaad, 2009)

Cykelgader i Münster

En anden måde at forbedre forholdene for cyklister er med såkaldte cykelgader som i stigende grad etableres i Tyskland og Holland. Cykelgaderne er smalle, hvor cyklisterne har absolut forsteret på hele gadens bredde. På normale gader forventes cyklisterne at holde sig så langt ind til siden af vejen som muligt og give plads til biler. På cykelgaderne har cyklisterne derimod ret til at køre hvor på gaden de vil, også selvom det blokerer for biler. Biler har som regel også ret til at benytte cykelgaderne, men de må højst køre 30 kilometer i timen eller mindre, og skal til enhver tid holde tilbage for cyklisterne. I Münster var der i 2007 etableret 12 cykelgader, og de var så succesfulde, at man har planer om at anlægge 10 mere i de kommende år.

I Münster foregår 36 % af alle inbyggernes ture på cykel. (Pucher m. fl, 2008 og Fietsberaad, 2009) Væksten i antallet af cyklister er ikke sket på bekostning af den offentlige transport, som er steget over de seneste tre år. Samtidig er antallet af bilister faldet fra 29 % i 2002 til 22,9 % i 2011 (ecf.com, 2011).

Cykelkampagne i Malmø

En massiv kampagne for at få flere til at cykle i Malmø har hjulpet til, at 30 % af indbyggernes ture i dag foregår på cykel, til sammenligning med de 20 % i 1995. Kampagnen "Ingeløjligabilresor" er event-baseret og startede i 2007. Undersøgelser viser at over 10.000 personer har ændret deres rejsevaner takket være kampagnen. De er nu mere villige til at efterlade bilen derhjemme og tage cyklen i stedet på de korte rejser (ingaløjligabilresor.nu, 2011).

Call a Bike in Berlin

Another form of bike-transit integration is the provision of bike rentals at virtually every major Dutch, Danish and German train station and many suburban stations as well. The German Railways' 'Call a Bike' programme in Berlin is especially innovative. It permits anyone with a mobile phone and credit card to rent one of more than 3000 German Rail bikes placed all over the city. One simply calls up the 'Call a Bike' number, provides credit card information (charged per minute of bike use), and then receives the access code used to unlock the bike (German Railways, 2007). The bike can be left at many different locations

throughout the city instead of being returned to the point of origin. The same 'Call a Bike' service is offered by German Railways in other major cities such as Hamburg, Cologne, Frankfurt and Munich, with a total of over 10 000 such rental bikes (Pucher m. fl, 2008).

Cykelabonnement i Lyon

Kombinationen af initiativer har medført at Lyon i 2008 har et transportsystem med en bred vifte af transport muligheder: Metro, bus, sporvogn, kabelbane og mulighed for 24 timer i døgnet at leje en cykel over hele byen. Leje af en cykel er gratis i op til en halv time, og koster derefter mellem 5 og 10 kr. i timen afhængig af hvilken abonnementstype borgeren har tegnet. I praksis er systemet næsten gratis, da over 90 % af rejserne varer mindre end 30 minutter. Abonnementet koster 10 kr. for en uge eller 50 kr. for et år og sker gennem en kreditkortbaseret deponeringsordning som samtidig skal opmuntre brugerne til at passe og aflevere cyklerne. (sustainablecities.dk, 2011)

Bycykler i Barcelona

Barcelona er, som så mange andre storbyer, præget af en massiv CO2-udledning fra både privat og offentlig transport. Byrådet har derfor ønsket at gøre byen mere miljøvenlig og samtidig øge andelen af den offentlige transport. At få folk til at lade bilen stå kræver et alternativ. Et simpelt system, som er let tilgængeligt, nemt at bruge og kræver meget lidt af brugeren. I Barcelona er dette alternativ delecykelsystemet Bicing. Projektets succes har været enorm. I marts 2007 dukkede de første cykelstationer op i Barcelona. Byrådet havde forventet 40.000 brugere i løbet af det første år, men allerede i maj måned havde 30.000 borgere købt medlemskab til 1.500 cykler og 100 stationer. Efter blot 6 måneder var der 90.000 registrerede brugere. I dag er der årligt mere end 175.000 registrerede brugere, som hver dag i gennemsnit kører 50.000 ture på Bicing-cyklerne. (sustainablecities.dk, 2011)

Cykelscor

Cyklisterne i Fredericia har mulighed for at blive præmieret for at cykle; Fredericia Cykelby tilbyder et koncept, der hedder CykelScor, hvor cykler påmonteres en elektronisk chip og derved registreres hver gang, de ankommer til jobbet. Det skal få skoleelever og medarbejdere på fredericianske virksomheder op på cyklen ved at konkurrere om at have flest cykeldage. I modsætning til kendte cykelkampanjer, hvor deltagerne selv skal registrere deres aktiviteter, foregår det i helt automatisk. Der påmonteres en chip på cyklen, og når cyklen ankommer til skolen eller arbejdspladsen bliver det automatisk registreret via et checkpoint. Det er et helt nyt koncept, som ikke hidtil er afprøvet i Danmark, men der er gode internationale erfaringer. Erfaringer fra Holland og USA har nemlig vist, at cykeltrafikken på denne måde kan stige med helt op til 25-50 % (Fredereciacykelby.dk, 2011).

Liste med cykelvenlige byer:

Highlights fra alle byerne (Virgin-vacations.com, 2011):

- Udpegede cykelbaner og trafiksignaler. Sikkerhedshensyn. Udlejning af offentlige cykler. Underjordiske cykelskur og udendørs stativer, som opbevarer tusindevis af cykler under opsyn.
- Omfattende cykelstier og trafiksignaler. Et cykel-center som uddanner og opfordrer til at tage cyklen.
- Gratis offentlige cykler. Gader med optegnede cykelstier eller cykelruter, som enten er tydeligt markerede eller separeret fra vejtrafikken med kantsten.

-
- Cykelkort – ruteplan. Kampagner. Cykelfestivaler. Stort universitet forbyder stort set alt biltrafik. Større finansieringssummer til udvikling. Strammere færdselslove for at beskytte cyklister for både cykler og biler.
 - Leje eller abonnement af offentlige bycykler. God cykelparkering. Cykelkultur. Cykellift. Uddannelse og events.

Figurer og tabeller

Figur 1 Trafikarbejde persontransport 2010-2050 fossilfrit scenarie	B 9
Figur 2 Trafikarbejde godstransport 2010-2050 fossilfrit scenarie	B 10
Figur 3 Transportdrivmidler, andele af samlet energiforbrug 2010-2050, Teknologiscenariet	B 12
Figur 4 Transportdrivmidler 2010-2050, Fossilfrit scenarie	B 12
Figur 5 Transportbrændselsandele 2020-2050, Teknologiscenarie	B 13
Figur 6 Transportbrændselsandele 2050 - fossilfrit scenarie	B 17
Figur 7 Biomasseforbrug fossilfrit scenarie	B 18
Figur 8 CO2 udslip teknologiscenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler	B 20
Figur 9 CO2 udledning fordelt på brændsler 2010-2050 teknologiscenariet	B 21
Figur 10 CO2 udslip fossilfrit scenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler	B 21
Figur 11 CO2 udslip fossilfrit scenarie 2010-2050, fordeling på brændsler	B 22
Figur 12 CO2 udslip fossilfrit scenarie 2010-2050, fordeling på brændsler	B 22
Figur 13 CO2 udslip teknologiscenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler	B 23
Figur 14 CO2 udslip teknologiscenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler	B 23
Figur 15 CO2 udslip teknologiscenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler	B 24
Figur 16 CO2 udslip fossilfrit scenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler	B 24
Figur 17 CO2 udslip fossilfrit scenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler	B 25
Figur 18 CO2 udslip fossilfrit scenarie 2010-2050, fordeling på transportmidler	B 25
Figur 19 Annuiserede samfundsøkonomiske omkostninger i Fossilfrit scenarie i 2020 ift. Reference	B 26
Figur 20 Annuiserede samfundsøkonomiske omkostninger i Fossilfrit scenarie i 2030 ift. Reference	B 26
Figur 21 Annuiserede samfundsøkonomiske omkostninger i Fossilfrit scenarie i 2050 ift. Reference	B 27
Figur 22 Annuiserede samfundsøkonomiske omkostninger i Teknologiscenarie i 2020 ift. reference	B 27
Figur 23 Annuiserede samfundsøkonomiske omkostninger i Teknologiscenarie i 2030 ift. reference	B 27
Figur 24 Annuiserede samfundsøkonomiske omkostninger i Teknologiscenarie i 2050 ift. reference	B 28
Figur 25 Omkostninger til transporttjenester 2020, Fossilfrit scenarie	B 28
Figur 26 Omkostninger til transporttjenester 2030, Fossilfrit scenarie	B 29
Figur 27 Omkostninger til transporttjenester 2050, Fossilfrit scenarie	B 29
Figur 28 Omkostninger til transporttjenester 2020, Teknologiscenarie	B 30
Figur 29 Omkostninger til transporttjenester 2030, Teknologiscenarie	B 30

Figur 30 Omkostninger til transporttjenester 2050, Teknologiscenarie	B 30
Figur 31 Ændring i persontransportarbejde fordelt på transportmidler	B 39
Figur 32 Ændring i persontransportarbejde når virkemiddel fysisk planlægning ikke er taget med	B 39
Figur 33 Ændring i persontransportarbejde når virkemiddel optimering af kollektiv transport ikke er taget med	B 40
Figur 34 Ændring i persontransportarbejde når virkemiddel hastighedsnedsættelse ikke er taget med	B 40
Figur 35 Ændring i persontransportarbejde når virkemiddel høj CO2 afgift ikke er taget med	B 41
Figur 36 Ændring i persontransportarbejde når virkemiddel afskaf befordringsfradrag ikke er taget med	B 41
 Tabel 1 Udvikling persontransportarbejde 2010-2050, index - Fossilfrit scenarie	B 7
Tabel 2 Udvikling i persontransportarbejde 2010-2050, Reference scenarie	B 7
Tabel 3 Persontransport fossilfrit scenarie – markedsandele af transportarbejde (pkm) 2010-2050	B 8
Tabel 4 Persontransport referencescenarie – markedsandele af transportarbejde (pkm) 2010-2050	B 8
Tabel 5 Udvikling i godstransportarbejde 2010-2050, Index, Fossilfrit scenarie	B 8
Tabel 6 Udvikling i godstransportarbejde 2010-2050, Index, Referencescenarie	B 8
Tabel 7 Godstransport fossilfrit scenarie – markedsandele af transportarbejde (tkm) 2010-2050	B 9
Tabel 8 Godstransport reference scenarie – markedsandele af transportarbejde (tkm.) 2010-2050	B 9
Tabel 9 Belægningsgrader fossilfrit scenarie 2010-2050	B 10
Tabel 10 Transportbrændselsandele 2020-2050 Fossilfrit scenarie, andele af transportarbejdet for persontransport	B 15
Tabel 11 Specifikt energiforbrug persontransport og godstransport (MJ/km), 2010-2050	B 19
Tabel 12 Specifikt energiforbrug persontransport og godstransport (Mj/pkm-tkm), 2010 – 2050	B 19
Tabel 13 Forklaring af virkemidler anvendt til beregning af det fossilfri scenarie	B 33
Tabel 14 Effekter af virkemidler på transportarbejdet (pkm/tkm) i 2050	B 35
Tabel 15 Effekter af virkemidler på belægningsgraden	B 36

Tabel 16 Virkemidlernes effekt på køretøjernes energi-effektivitet (MJ/km)	B 37
Tabel 17 Periodisering af virkemidlerne 1-12 anvendt i beregning af det fossile frie scenarie 2010-2050	B 37
Tabel 18 Persontransport - Referencescenariet 2010	B 44
Tabel 19 Persontransport - Referencescenariet 2020	B 45
Tabel 20 Persontransport - Referencescenariet 2030	B 46
Tabel 21 Persontransport - Referencescenariet 2050	B 47
Tabel 22 Godstransport - Referencescenariet 2010	B 48
Tabel 23 Godstransport - Referencescenariet 2020	B 49
Tabel 24 Godstransport - Referencescenariet 2030	B 50
Tabel 25 Godstransport - Referencescenariet 2050	B 51
Tabel 26 Fremskrivning af passagertransportefterspørgsel 2010-2050	B 60
Tabel 27 Fremskrivning af godstransportefterspørgsel 2010-2050	B 61
Tabel 28 Energieffektiviseringer i referencescenariet. Reduktion i procent pr år samt i alt i forhold til 2010	B 63

Teknologirådet

Antonigade 4
1106 København K

Telefon 33 32 05 03
Telefax 33 91 05 09

tekno@tekno.dk
www.tekno.dk

Giro 8 51 07 68